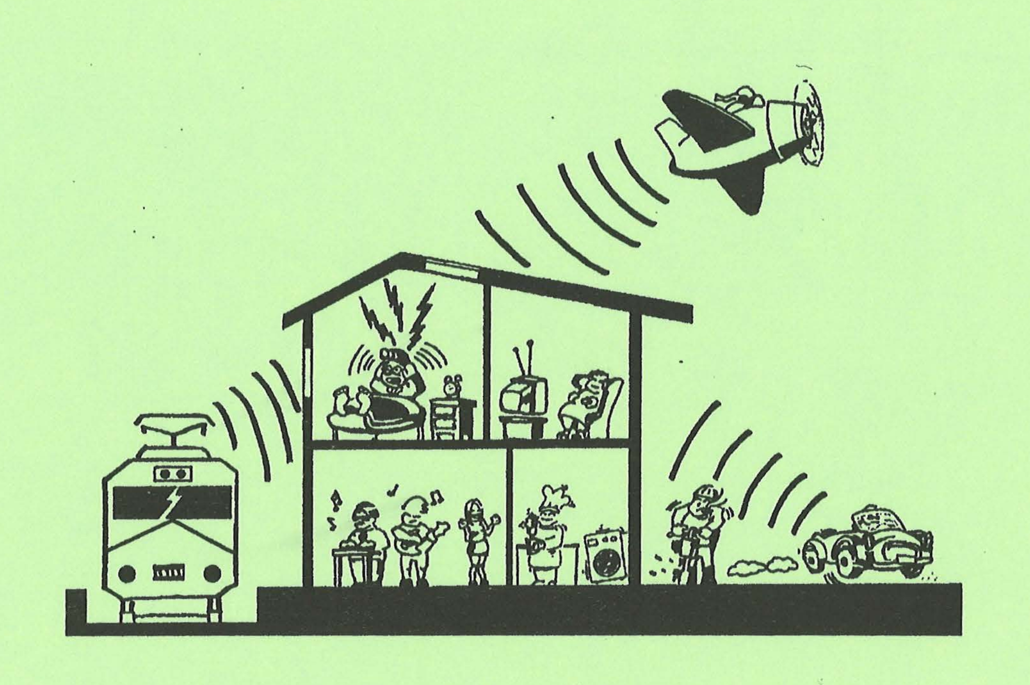
EL AISLAMIENTO ACÚSTICO (V)

por

CÉSAR DÍAZ SANCHIDRIÁN



CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

3-51-14

EL AISLAMIENTO ACÚSTICO (V)

por

CÉSAR DÍAZ SANCHIDRIÁN

CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

3-51-14

C U A D E R N O S
D E L I N S T I T U T O
J U A N D E H E R R E R A

NUMERACIÓN

2 Área
51 Autor
09 Ordinal de cuaderno (del autor)

0 VARIOS
1 ESTRUCTURAS
2 CONSTRUCCIÓN
3 FÍSICA Y MATEMÁTICAS
4 TEORÍA
5 GEOMETRÍA Y DIBUJO
6 PROYECTOS
7 URBANISMO
8 RESTAURACIÓN

I ***El aislamiento acústico (IV)***

Instituto Juan de Herrera.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
Gestiòn y portada : Nadia Soddu.
CUADERNO 299.01 / 3-51-14
ISBN: 978-84-9728-320-5 (obra completa)
ISBN-13: 978-84-9728-325-0
Depósito Legal: M- 7203-2010

10 EL RUIDO DE IMPACTOS Y SU AISLAMIENTO

10.1 Introducción
10.2 Magnitudes que expresan el aislamiento acústico a ruido de impactos.
10.2.1 Magnitudes que expresan las características de los elementos constructivos
10.2.2 Magnitudes que expresan las características de los recintos.
10.3 Procedimiento para la evaluación de las magnitudes globales, según la Norma UNE-EN ISO 717-2. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.
10.4 Nivel de presión acústica de impactos normalizado de forjados homogéneos
10.5 La Norma UNE-EN 12354-2 (2001). Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico del ruido de impactos entre recintos.
10.6 Cálculo del aislamiento acústico a ruido de impactos entre dos recintos según el modelo simplificado propuesto por la norma UNE-EN 12354-2.

10.7 Reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos ΔL_w de suelos flotantes.
10.8 Procedimientos para mejorar el aislamiento a ruido de impactos en los recintos
10.9 Mejora del aislamiento de ruido de impactos de algunas soluciones constructivas
10.10 Las exigencias de aislamiento al ruido de impactos en el DB HR Protección frente al ruido del CTE
Bibliografía

Anexo: El sonido y sus magnitudes de medida.

10.- EL RUIDO DE IMPACTOS Y SU AISLAMIENTO

10.1.- INTRODUCCIÓN

Los ruidos estructurales están producidos por excitaciones mecánicas que actúan sobre una estructura. Estas excitaciones pueden ser estacionarias (ventiladores, bombas acondicionadores de aire, electrodomésticos, etc.) o impactos (caídas de objetos, pisadas, arrastres de muebles, martillazos, etc.).

Los ruidos de impactos están producidos por una excitación mecánica de corta duración, (impulso mecánico), aplicado directamente sobre un elemento sólido. Cuando este impulso se produce sobre un elemento de la estructura de un recinto en un edificio, se origina un ruido estructural que puede propagarse a grandes distancias en él, (figura 10.1), a diferencia del ruido aéreo que únicamente afectaría a los recintos colindantes.

En los ruidos de impactos se comunica una cantidad de energía a una superficie pequeña, que se pone en vibración e irradia a otros locales por las paredes unidas entre sí. Al propagarse en un medio sólido su velocidad de propagación es mucho mayor que la de propagación de las ondas en el aire. La energía que se intercambia en los ruidos de impactos es mucho mayor que en los ruidos aéreos y en consecuencia es más difícil disminuir los niveles del ruido de impactos. Los ruidos de impactos generan vibraciones que se propagan a los recintos próximos por las paredes, techos y suelos. Estas vibraciones son de la misma naturaleza mecánica que los ruidos aéreos producidos en los recintos.

Cuando una estructura vibra, las vibraciones se transmiten por ella con muy poca atenuación y ponen en vibración a las superficies y objetos en contacto con ella y estas emiten energía en forma de ruido aéreo. La potencia acústica irradiada por una pared o un forjado en cada uno de los recintos que limita esta dada por

$$W = S\rho c\overline{v}^2\sigma_{rad} \quad W \qquad (10.1)$$

donde
S, es el área de la pared; σ_{rad}, es el factor de radiación para ondas de flexión libres, su valor aproximado es uno para frecuencias superiores a la crítica; ρc, la impedancia característica del aire; $\overline{v}^2$, es la velocidad cuadrática media espacio-temporal de las vibraciones de la pared y normal a la misma, al estar sometida a las ondas de flexión.

Para el control de los ruidos de impactos la masa del elemento constructivo no es el factor más importante. Para disminuir el nivel de los ruidos de impacto, únicamente es necesario actuar sobre los recubrimientos del forjado o sobre un corte de los materiales.

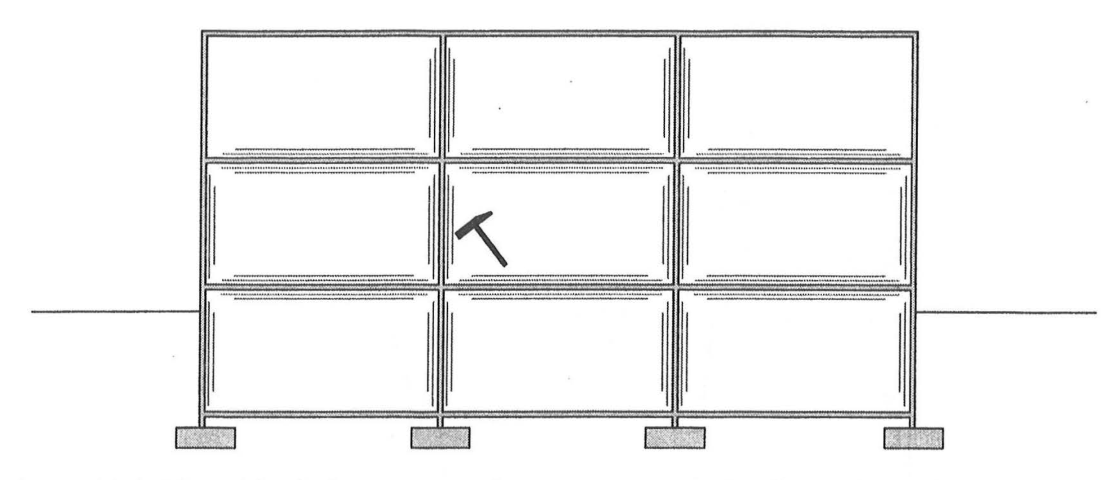


Figura 10.1: Un ruido de impacto puede propagarse a todos los recintos de un edificio.

Algunos códigos técnicos de la edificación diferencian entre impactos y vibraciones por su origen, los impactos son ruidos impulsivos y en las vibraciones se alcanza el estado estacionario. En ambos casos se estudian preferentemente los forjados, sobre los que actúan pisadas, golpes, desplazamientos de muebles, vibraciones de electrodomésticos. Otros focos importantes de ruidos estructurales son las instalaciones de climatización, de abastecimiento de agua, etc.

Existen muy diferentes fuentes de ruido estructural con espectros de ruido variados, y ninguna fuente de ruidos estructurales puede simularlas a todas ellas. La figura 10.2 muestra la fuerza impulsiva transmitida durante el choque de los martillos de una máquina de impactos normalizada sobre un suelo duro, que impactan cada décima de segundo. En la figura 10.3 se representa aproximadamente la fuerza ejercida sobre el suelo por una persona al andar calzada a paso normal. La fuerza que ejerce sobre el suelo una persona al andar varía según cada individuo, su peso, forma de andar, tipo de calzado, velocidad de marcha, acabado del suelo, etc.

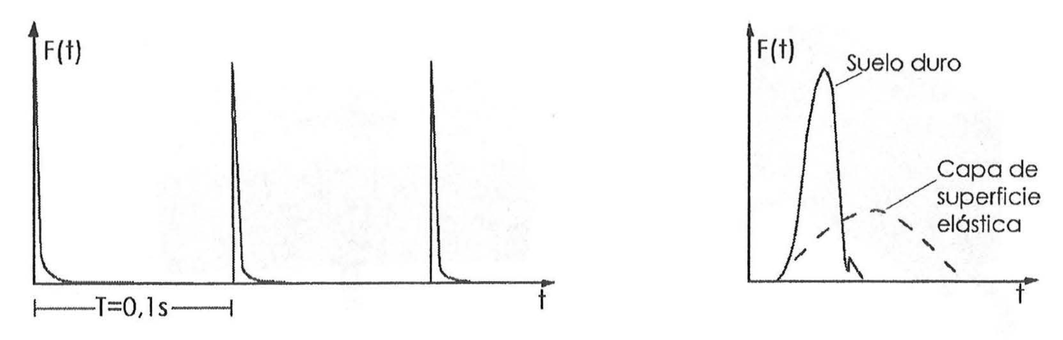


Figura 10.2: Fuerzas transmitidas durante el choque de los martillos de la máquina de impactos normalizada sobre un suelo duro o un suelo con acabado elástico.

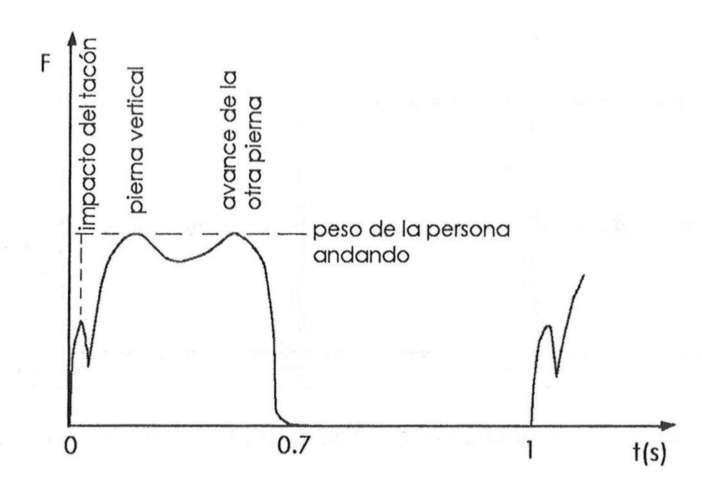


Figura 10.3: Ejemplo de fuerza ejercida sobre el suelo por una persona al andar calzada a paso normal.

Hay muchas situaciones prácticas donde la excitación de una estructura se puede representar de forma aproximada por el impacto periódico de una masa sobre su superficie. Para normalizar la medida del ruido de impactos se utiliza una máquina que permite comparar los niveles de impacto de diferentes tipos de suelos. Los ruidos de impacto se producen mediante una máquina de impactos autopropulsada normalizada. Esta consta de cinco martillos de 500 gramos situados en línea, que caen libremente desde una altura de 40 mm sobre la superficie de ensayo, cada 0,1 s. La primera máquina utilizada fue en 1938, construida de acuerdo con la Norma DIN 4110.

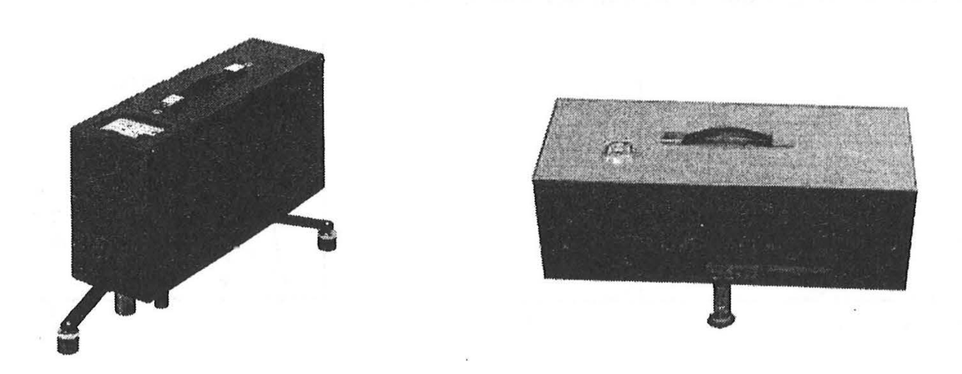


Figura 10.4: Ejemplos de dos tipos de máquinas de impactos

La figura 10.5 muestra los diferentes caminos de transmisión de ruidos estructurales entre dos recintos. En el caso de recintos situados uno encima del otro es habitual considerar, aparte del camino directo de transmisión, cuatro elementos constructivos de flancos. Si los locales están uno al lado del otro se suelen considerar dos elementos de flancos.

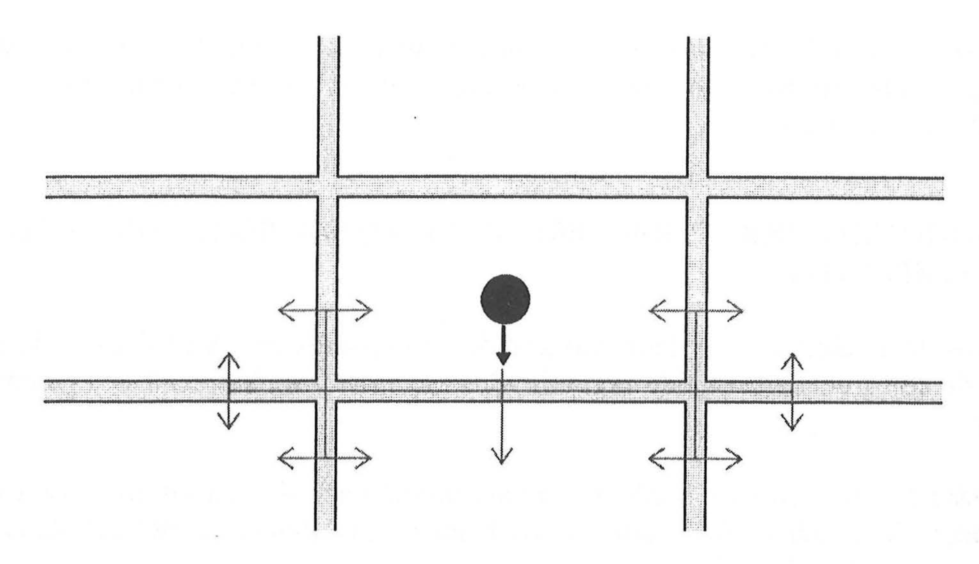


Figura 10.5: Caminos de transmisión de ruido estructural entre dos recintos

La figura 10.6 muestra los niveles de presión acústica medidos en el recinto subyacente en unas cámaras de transmisión vertical en laboratorio. Los niveles sonoros están producidos por diferentes tipos de impactos, sobre una losa de hormigón denso de espesor 140 mm.

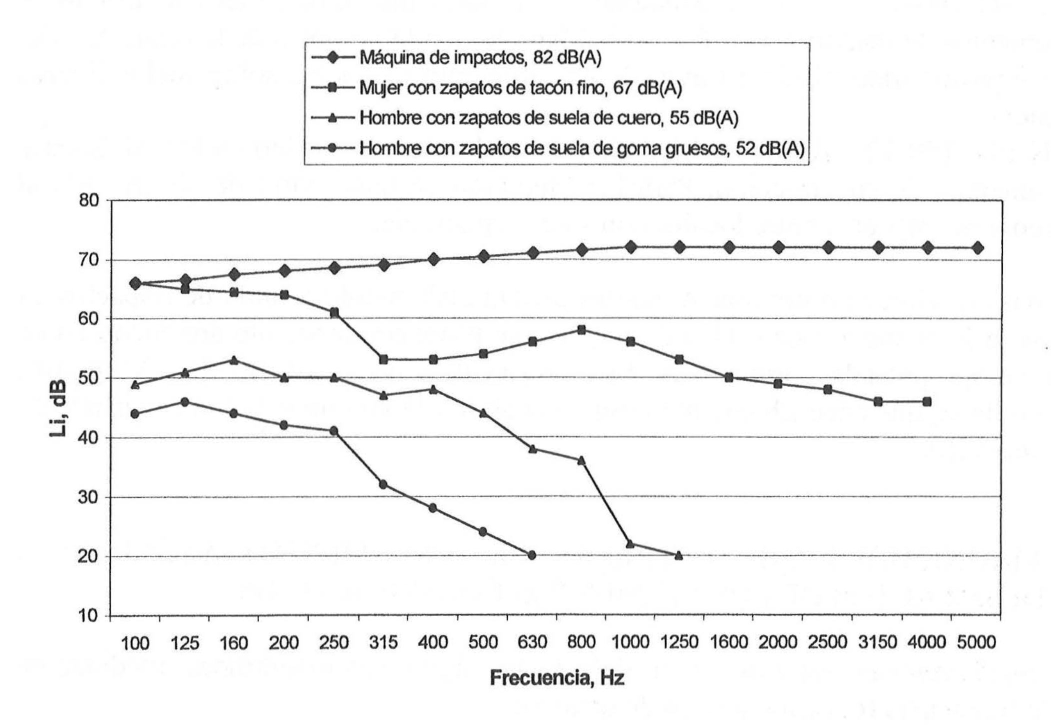


Figura 10.6: Ejemplos de niveles de presión acústica de impactos de fuentes distintas.

Desde la perspectiva de las exigencias acústicas legales en la edificación, los elementos horizontales de separación entre los recintos deben garantizar simultáneamente el cumplimiento de los requerimientos del aislamiento acústico a ruido aéreo y al ruido de impactos. En la práctica pueden hallarse sistemas constructivos de masa por unidad de superficie elevada que cumplen las exigencias de aislamiento a ruido aéreo y no

cumplen las de ruido de impactos, y al contrario elementos horizontales de separación con cubiertas amortiguadoras que cumplen las exigencias al ruido de impactos y no las de aislamiento a ruido aéreo.

10.2.- MAGNITUDES QUE CARACTERIZAN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO DE IMPACTOS.

Los métodos de medición del aislamiento a ruido de impactos de los edificios y de los elementos de construcción han sido normalizados mediante las Normas ISO siguientes [1,2,3,4,5]:

UNE-EN ISO 140-6- Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.
UNE-EN ISO 140-7- Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos.
UNE-EN ISO 140-8 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 8: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimiento de suelos sobre forjado normalizado pesado.
UNE-EN ISO 140-11 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 11: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimiento de suelos sobre suelos ligeros de referencia.
UNE- EN ISO 140-12 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte12: Medición en laboratorio de aislamiento al ruido aéreo y de impactos entre locales con suelo registrable.

Las Normas anteriores proporcionan valores para el aislamiento a ruido de impactos en función de la frecuencia. Los ruidos de impacto se producen mediante una máquina de impactos autopropulsada normalizada. Esta consta de cinco martillos de 500 gramos situados en línea, que caen libremente desde una altura de 40 mm sobre la superficie de ensayo, cada 0,1 s.

10.2.1- MAGNITUDES QUE EXPRESAN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO DE IMPACTOS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Para las *mediciones en laboratorio* se definen las siguientes magnitudes, medidas en bandas de frecuencia (octava o tercios de octava):

Nivel de presión acústica de impacto normalizado, L_n
Es el nivel de presión de ruido de impactos L_i aumentado mediante un término de corrección, dado en decibelios, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el área de absorción acústica equivalente medido A del recinto receptor y el área de absorción acústica equivalente de referencia A_0; se expresa en decibelios.

$$L_n = L_i + 10.\lg\frac{A}{A_0} \quad dB \qquad (10.2)$$

Donde: L_i ,es el nivel de presión acústica de impactos medio en bandas de frecuencia en el recinto receptor cuando el suelo bajo ensayo es excitado por la máquina de impactos normalizada, se expresa en decibelios. Esta magnitud se determina según la Norma UNE-EN ISO 140-6.

La absorción acústica equivalente del recinto receptor se determina utilizando la fórmula de Sabine del tiempo de reverberación, de acuerdo con la Norma UNE EN ISO 354:2004. $A_0 = 10\ m^2$

Reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL (mejora del aislamiento a ruidos de impacto).

Es la reducción del nivel de presión acústica de impactos normalizado resultante de la instalación del recubrimiento de suelo objeto de ensayo.

$$\Delta L = L_{no} - L_n \text{ dB} \qquad (10.3)$$

L_{no} es el nivel de presión acústica de impactos normalizado en ausencia de recubrimiento de suelo, en dB; L_n es el nivel de presión acústica de impactos normalizado una vez instalado el recubrimiento de suelo, en dB. Esta magnitud se determina según la Norma UNE-EN ISO 140-8.

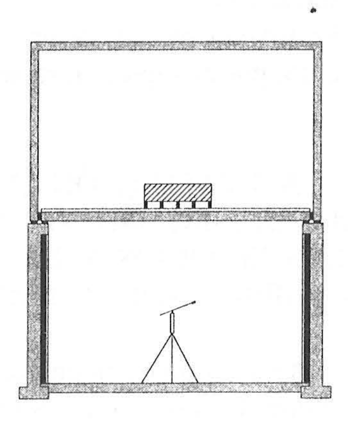


Figura 10.7: En los ensayos en laboratorio, se considera que el sonido se transmite del recinto emisor al receptor a través del sistema constructivo que los separa

10.2.2.- MAGNITUDES QUE EXPRESAN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO DE IMPACTOS DEL EDIFICIO.

Para las *mediciones in situ* (EN ISO 140-7) se definen las siguientes magnitudes, medidas en bandas de frecuencia (octava o tercios de octava):

Nivel normalizado de la presión acústica de impactos, L'_n

Es el nivel de presión acústica de impactos L_i medido en el recinto receptor, aumentado mediante un término de corrección, dado en decibelios, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el área de absorción acústica equivalente medida A, del

recinto receptor, y el área de absorción acústica equivalente A_0 de referencia; se expresa en decibelios.

$$L'_n = L_i + 10.\lg\frac{A}{A_0} \quad dB \qquad (10.4)$$

donde $A_0 = 10\ m^2$ en viviendas.

Nivel estandarizado de la presión acústica de impactos, L'_{nT}

Es el nivel de presión acústica de impactos L_i, reducido mediante un término de corrección, dado en decibelios, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el tiempo de reverberación medido en el recinto receptor y el tiempo de reverberación de referencia T_0, se expresa en decibelios:

$$L'_{nT} = L_i - 10.\lg\frac{T}{T_0} \quad dB \qquad (10.5)$$

para viviendas $T_0 = 0{,}5$ s.

Las dos magnitudes anteriores están relacionadas mediante la expresión siguiente

$$L'_{nT} = L'_n - 10.\lg\frac{0{,}16V}{A_0 T_0} \quad dB = L'_n - 10\lg(0{,}032V) \quad dB \qquad (10.6)$$

donde V es el volumen del recinto receptor en m^3. El volumen del recinto receptor tiene importancia en el valor que se obtiene.

Reducción del nivel de ruido de impactos, $\Delta L'$

Es la diferencia, en decibelios, entre los niveles medios de presión acústica, en el recinto receptor antes y después de la instalación, por ejemplo, un recubrimiento del suelo.

10.3 - PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS MAGNITUDES GLOBALES, SEGÚN LA NORMA UNE-EN ISO 717-2. EVALUACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO EN LOS EDIFICIOS Y DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN. PARTE 2: AISLAMIENTO A RUIDO DE IMPACTOS.

Los métodos de medición del aislamiento al ruido de impactos de los edificios y de los elementos de construcción han sido normalizados en las Normas Internacionales ISO 140 indicadas en el apartado anterior. Estos métodos proporcionan valores para el aislamiento a ruido de impactos que son función de la frecuencia. La ISO 717-2 [6,7], tiene por objetivo normalizar un método por el cual la dependencia en frecuencia del aislamiento a ruido de impactos pueda convertirse en un solo número que caracterice el aislamiento acústico y simplificar la formulación de los requisitos acústicos en los códigos de la edificación.

Para la aplicación de la UNE EN ISO 717-2, se utilizan diferentes definiciones como las siguientes:

- *Magnitud global para la valoración del aislamiento al ruido de impactos derivada de mediciones en bandas de tercio de octava.* Es el valor en dB, a 500 Hz de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales según el método especificado en esta parte de la ISO 717. Existen magnitudes globales de las propiedades globales de aislamiento al ruido de impactos de elementos de construcción, como por ejemplo el nivel normalizado ponderado de la presión acústica de impactos, $L_{n,w}$; y magnitudes globales del aislamiento a ruido de

impactos entre recintos en edificios tales como el nivel normalizado ponderado de la presión acústica de impactos, $L'_{n,w}$; y nivel estandarizado ponderado de la presión acústica de impactos $L'_{nT,w}$.

- *Magnitud global para valoración del aislamiento a ruidos de impactos a partir de mediciones en bandas de octava.* Es el valor en dB, a 500 Hz de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales según las especificaciones de la Norma ISO 717, disminuida en 5 dB.

- *Reducción ponderada del nivel de presión acústica de impactos*: Es la diferencia entre los niveles ponderados de la presión de impactos normalizada de un suelo de referencia sin y con un revestimiento del suelo, obtenidos con el método especificado en esta parte de la Norma ISO 717. Esta magnitud se designa con ΔL_w y se expresa en dB.

El procedimiento para la evaluación de magnitudes globales es el mismo para todas ellas.

a) Mediciones en bandas de tercio de octava.

Para valorar los resultados de una medición de L_n, L'_n o L'_{nT}; en bandas de tercio de octava, con precisión de 0,1 dB, se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor de 32,0 dB, para mediciones en 16 bandas de tercio de octava entre 100 Hz y 3150 Hz.

Se produce una desviación desfavorable en una determinada banda de frecuencia cuando el resultado de la medición supera al valor de referencia. Únicamente se consideran las desviaciones desfavorables. **El valor, en dB, de la curva de referencia a 500 Hz, después del desplazamiento, es el valor de $L_{n,w}$, $L'_{n,w}$ o $L'_{nT,w}$**

b) Mediciones en bandas de octava.

Para valorar los resultados de una medición in situ de L_n, L'_n o L'_{nT}; en bandas de octava, con una cifra decimal significativa, con precisión de 0,1 dB, se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor de 10,0 dB.

Se produce una desviación desfavorable en una determinada banda de frecuencia cuando el resultado de la medición supera al valor de referencia. Únicamente se consideran las desviaciones desfavorables. **El valor, en dB, de la curva de referencia a 500 Hz, después del desplazamiento, y disminuida en 5 dB es el valor de $L_{n,w}$, $L'_{n,w}$ o $L'_{nT,w}$.**

Para mediciones in situ, debe indicarse si la magnitud global se ha calculado a partir de los resultados de la medición en bandas de octava o de tercio de octava, pues hay diferencia en los resultados obtenidos. La Tabla 10.1 muestra los valores de referencia para ruidos de impacto, en dB, para bandas de tercio de octava y octava.

Frecuencia, Hz	Valores de referencia, dB	
	Bandas de 1/3 de octava	Bandas de octava
100	62	
125	62	67
160	62	
200	62	
250	62	67
315	62	
400	61	
500	60	65
630	59	
800	58	
1000	57	62
1250	54	
1600	51	
2000	48	49
2500	45	
3150	42	

Tabla 10.1: Valores de referencia para ruido de impacto.

- *Término de adaptación espectral C_I*: Es el valor, en dB, que ha de añadirse al valor de la magnitud global para tener en cuenta la carencia de ponderación del nivel acústico de impactos, por lo cual representa las características de espectro del ruido de pasos. El término de adaptación espectral del nivel de ruido de impactos se realiza mediante el procedimiento siguiente: Los resultados de la medición (L_n, L'_n, L'_{nT}) en bandas de octava en el rango de frecuencias de 125 Hz a 2000 Hz o en bandas de tercio de octava de 100 Hz a 3150 Hz se componen energéticamente para obtener $L_{n,suma}$, $L'_{n,\ suma}$, $L'_{nT,\ suma}$. El término de adaptación espectral C_I se calcula mediante las expresiones correspondientes:

$$C_I = L_{n,suma} - 15 - L_{n,w} \text{ dB}$$
$$C_I = L'_{n,suma} - 15 - L'_{n,w} \text{ dB}$$
$$C_I = L'_{nT,suma} - 15 - L'_{nT,w} \text{ dB}$$

La valoración mediante $L_{n,w}$ es bastante adecuada para caracterizar ruidos de impactos tales como pasos en suelos de madera y en suelos de cemento con recubrimientos tales como alfombras y suelos flotantes. Sin embargo, no da cuenta suficiente sobre los picos de nivel a frecuencias (bajas) discretas, por ejemplo en suelos con vigas de madera o en suelos de cemento sin recubrimiento al respecto. Se ha definido C_I de manera que para suelos macizos con recubrimientos eficaces toma un valor próximo a cero, mientras para suelos de vigas de madera con picos dominantes en bajas frecuencias sea ligeramente positivo. Para suelos de cemento sin recubrimientos o con recubrimientos poco eficaces, puede situarse entre -15 dB y 0 dB.

En la legislación acústica española, DB HR Protección frente al ruido del CTE, en lo referente al cálculo de aislamiento a ruido de impactos se utilizan las magnitudes $L'_{nT,w}$ y $L'_{n,w}$. Considera las situaciones de transmisión de ruido de impactos entre recintos superpuestos, recintos adyacentes y recintos con una arista horizontal común.

La Norma ASTME 1007 (1997) proporciona otro procedimiento semejante al de la Norma UNE EN ISO 717-2 para obtener un valor global de una cifra Impact Insulation Class (IIC). Este valor se obtiene al restar a 110 dB el valor, en la banda de frecuencia central de 500 Hz, de la curva de referencia desplazada que mejor ajusta con la curva experimental

10.4 NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA DE IMPACTOS NORMALIZADO DE FORJADOS HOMOGÉNEOS

La Norma UNE-EN 12354-2 [8], para forjados monolíticos comunes, propone que el nivel de presión acústica de impactos normalizado se pueda calcular para bandas de tercio de octava, mediante la expresión siguiente:

$$L_n \approx 155 - 30.\lg\left(\frac{m'}{1\,kg/m^2}\right) + 10.\lg\left(\frac{T_s}{1\,s}\right) + 10.\lg\sigma_f + 10.\lg\left(\frac{f}{1000\,Hz}\right) \quad dB \qquad (10.7)$$

Donde: m´es la masa por unidad de superficie del forjado, σ_f el factor de radiación para ondas de flexión libres y T_s es el tiempo de reverberación estructural, definido $T_s = \frac{2{,}2}{f\eta}$

Nota: Para calcular el factor de pérdidas total se pueden utilizar las ecuaciones 2.75 y 2.76.

Una ecuación teórica propuesta por Cremer [9], muestra que el nivel de presión acústica de impactos normalizado de sistemas homogéneos depende básicamente de la densidad de masa superficial, m´; de la rigidez a la flexión B y del amortiguamiento. La ecuación es:

$$L_n = 10.\lg\frac{f_c}{m'^2.\eta_{tot}\sqrt{1-\frac{f_c}{f}}} + 87 \quad dB \qquad (10.8)$$

Debido al principio de reciprocidad [10], entre el índice de reducción acústica, R y el nivel de presión acústica de impactos normalizado, L_n , en elementos horizontales de separación homogéneos entre recintos. En laboratorio, en el caso de forjados homogéneos desnudos y sin transmisiones forzadas, se han determinado las relaciones experimentales entre el índice de reducción acústica R y el nivel de presión acústica de impactos normalizado, L_n. Esto permite estimar el nivel de presión acústica de impactos normalizado de un forjado a partir del conocimiento de los valores del índice de reducción acústica R del mismo. Estas relaciones son las siguientes:

En bandas de octava: $$R + L_n = 43 + 30\lg\frac{f}{(1Hz)} \quad dB \qquad (10.9)$$

En bandas de tercio de octava: $$R + L_n = 38 + 30\lg\frac{f}{(1Hz)} \quad dB \qquad (10.10)$$

f es la frecuencia central de la banda de frecuencia, en Hercios.

Los resultados del principio de reciprocidad para valores globales ponderados se pueden escribir:

$$R_w + L_{n,w} \approx 126 \pm 2 \quad dB \tag{10.11}$$

$$R_A + L_{nA} \approx 114 \pm 1 \quad dB \tag{10.12}$$

Para m'> 150 kg/m^2, unas expresiones conservadoras para los valores globales son [11]:

$$L_{n,w} = 164 - 35\lg\frac{m'}{1kg/m^2} \quad dB \tag{10.13}$$

$$L_{nA} = L_{n,w} + C_I = 158 - 37\lg\frac{m'}{1kg/m^2} \quad dB \tag{10.14}$$

Donde el término de adaptación al espectro C_I es:

$$C_I = -6 - 2\lg\frac{m'}{1kg/m^2} \quad dB \tag{10.15}$$

En España[12], para el caso de recintos superpuestos en edificios de uso residencial, en el caso de forjados unidireccionales de hormigón armado y con bovedilla cerámica sin solado amortiguador, los resultados experimentales medidos in situ, para m' > 300 kg/m^2 , son los siguientes:

$$R'_w = 29 + 8\log\left(\frac{m'}{1kg/m^2}\right) \quad dB \tag{10.16}$$

$$L'_{n,w} = 115 - 15\log\left(\frac{m'}{1\,kg/m^2}\right) \quad dB \tag{10.17}$$

La relación de reciprocidad, en bandas de octava, entre el índice de reducción acústica aparente, R´ y el nivel de presión acústica de impactos normalizado, L'_n es

$$L'_n + R' = 66 + 20\log\left(\frac{f}{1\,Hz}\right) \quad dB \tag{10.18}$$

La relación experimental obtenida entre los valores globales es la siguiente

$$R'_w + L'_{n,w} = 126 \pm 4 \quad dB \tag{10.19}$$

10.5 LA NORMA UNE-EN 12354-2 (2001). ACÚSTICA DE LA EDIFICACIÓN. ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DE LAS EDIFICACIONES A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SUS ELEMENTOS. PARTE 2: AISLAMIENTO ACÚSTICO DEL RUIDO DE IMPACTOS ENTRE RECINTOS.

Esta Norma describe modelos de cálculo para estimar el aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos de edificios, utilizando en primer lugar los resultados de las medidas de las transmisiones directas e indirectas a través de los elementos

constructivos del edificio y métodos teóricos obtenidos a partir de la propagación de las ondas acústicas en los elementos estructurales.

También describe un método detallado para el cálculo en bandas de frecuencia, que permite calcular el índice global a partir de los resultados. A partir de este modelo se deduce un modelo simplificado con un campo de aplicación más restringido, que calcula directamente el índice global a partir de los índices globales de los elementos del sistema constructivo.

Describe los principios del modelo de cálculo, enumera las magnitudes relevantes y define sus aplicaciones y restricciones. Este documento está orientado a expertos en acústica y establece la estructura para el desarrollo de documentos de aplicación y herramientas para otros usuarios en el campo de la construcción de edificios, teniendo en cuenta situaciones locales.

Los modelos de cálculo descritos utilizan la aproximación más general para propósitos de ingeniería, en clara relación con magnitudes medibles que especifican las características de los elementos constructivos. Las limitaciones conocidas de estos modelos de cálculo están descritas en estos documentos. Los usuarios deben saber que existen otros modelos de cálculo con su propio campo de aplicación y estricciones.

Los modelos están basados en la experiencia de la predicción para viviendas; también podrían aplicarse a otros tipos de edificios siempre que los sistemas de construcción y las dimensiones de los elementos de construcción no sean muy diferentes a los que se encuentran en los edificios de viviendas.

MAGNITUDES RELEVANTES

Define las magnitudes relevantes que expresan las características del edificio y de los elementos. Algunas de las magnitudes no definidas anteriormente y necesarias para la aplicación de esta norma son las siguientes:

Reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL_d : es la disminución del nivel de presión acústica de impactos mediante el añadido de una capa adicional en el lado de recepción del elemento separador (suelo). Esta magnitud se debe determinar según la Norma EN ISO 140-8.

Nivel de presión acústica de impactos indirecta normalizado, L_n
Se define

$$L_{n,f} = L_i + 10.\lg\frac{A}{A_0} \quad dB \qquad (10.20)$$

Donde: L_i ,es el nivel de presión acústica de impactos medio en bandas de frecuencia en el recinto receptor cuando el suelo bajo ensayo es excitado por la máquina de impactos normalizada, se expresa en decibelios. La absorción acústica equivalente del recinto receptor se determina utilizando la fórmula de Sabine del tiempo de reverberación, de acuerdo con la Norma UNE EN ISO 354:2004. A_0 = 10 m^2. Se considera que la transmisión se produce únicamente a través del elemento de flanco especificado, por ejemplo un suelo continuo. Esta magnitud se debe determinar según la Norma EN ISO 10848-1[13,14,15] .

Nivel de presión acústica de impactos normalizado por flancos $L_{n,ij}$: Nivel de presión acústica promedio en el recinto receptor debido a la excitación del elemento i, forjado) por impacto en el recinto emisor y radiación acústica sólo a través del elemento j del recinto receptor, normalizado a un área de absorción acústica equivalente de referencia $A_0 = 10\ m^2$.

MODELOS DE CÁLCULO

Principios generales

La potencia acústica radiada al recinto receptor proviene del sonido radiado por cada elemento estructura de ese recinto. El sonido radiado por cada uno de los elementos estructurales es causado por el sonido transmitido a ese elemento debido al impacto sobre un elemento estructural del recinto emisor. Se supone que la vía de transmisión de cada uno de los recorridos es independiente y que los campos acústicos y vibratorios se comportan de forma estadística, de manera que el nivel de presión acústica de impactos L'_n se puede obtener mediante la suma de la energía transmitida a través de cada uno de los recorridos. Los recorridos de transmisión considerados se definen en la figura siguiente, donde *d* indica la transmisión acústica de impactos directos y *f* la transmisión acústica de impactos indirectos.

Para recintos situados uno encima de otro, el nivel de presión acústica de impactos total L'_n en el recinto receptor viene determinado por:

$$L'_n = 10.\lg\left(10^{0,1L_{n,d}} + \sum_{j=1}^{n} 10^{0,1L_{n,ij}}\right)\ dB \qquad (10.21)$$

donde

$L_{n,d}$ es el nivel de presión acústica de impactos normalizado debido a la transmisión directa, en dB.

$L_{n,ij}$ es el nivel de presión acústica de impactos normalizado debido a las transmisiones indirectas, en dB.

n es el número de elementos

Para recintos situados uno junto al otro, el nivel de presión acústica de impactos total L'_n en el recinto receptor viene dado por:

$$L'_n = 10.\lg\left(\sum_{j=1}^{n} 10^{0,1L_{n,ij}}\right)\ dB \qquad (10.22)$$

En los casos habituales el número de elementos de flancos es n = 4 para recintos superpuestos y n = 2 para recintos adyacentes.

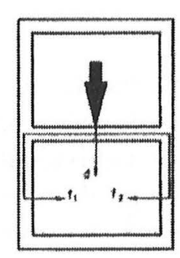
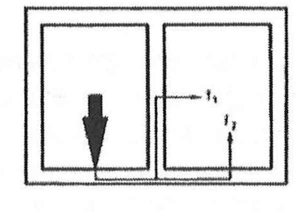



Figura 10.8: Definición de los caminos de transmisión entre dos recintos, superpuestos y adyacentes, respectivamente

Se utilizan dos modelos de cálculo: el detallado y el simplificado.

El modelo detallado calcula las características de la edificación en bandas de frecuencia, basándose en los datos acústicos de los elementos constructivos por bandas de frecuencia. En bandas de octava al menos de 125 Hz a 2000 Hz y en tercios de octava de 100 Hz a 3150 Hz. A partir de estos datos se puede calcular el índice global según la Norma EN ISO 717-2:1996.

El modelo simplificado calcula las características del edificio como un índice global basado en los índices globales de los elementos constructivos involucrados.

10.6 - CÁLCULO DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO DE IMPACTOS ENTRE DOS RECINTOS SEGÚN EL MODELO SIMPLIFICADO PROPUESTO POR LA NORMA UNE-EN 12354-2.

El modelo simplificado de cálculo predice el nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado a partir de los valores ponderados de los elementos constructivos involucrados, determinados según los procedimientos de ponderación de la Norma EN ISO 717-2: 1996. El modelo se aplica a recintos situados uno sobre el otro, del tamaño habitual en viviendas, con un forjado básico homogéneo (cemento y/u hormigón) con suelos flotantes o recubrimientos blandos sobre forjados homogéneos.

El nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado $L'_{n,w}$ viene dado por la expresión

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \text{ dB} \qquad (10.23)$$

Donde K es la corrección para transmisión acústica de impactos sobre construcciones de flancos homogéneas en dB. Los valores de K se dan en la tabla siguiente.

$L_{n,w,eq}$ es el nivel de presión acústica ponderada de impactos normalizado equivalente del forjado base. Para forjados homogéneos puede calcularse a partir de la densidad superficial m´ en el rango de valores entre 100 y 600 kg/m^2 a partir de la fórmula

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35\lg\frac{m'}{1kg/m^2} \quad dB \qquad (10.24)$$

La expresión anterior es válida para forjados homogéneos de hormigón; para hormigón ligero u hormigón poroso los valores reales serán algo inferiores, de forma que la ecuación anterior da valores seguros en estos casos.

ΔL_w es la reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos del recubrimiento del forjado. La información sobre los valores de la mejora del aislamiento a ruido de impactos ponderado de suelos flotantes se muestra en figuras posteriores.

Corrección K para transmisiones indirectas, dB									
Densidad superficial del elemento separador (forjado), kg/m²	Densidad superficial media de los elementos de flancos no cubiertos con una capa adicional, kg/m²								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

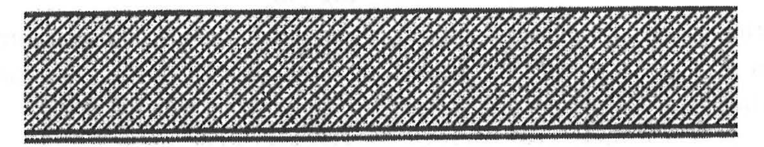
Tabla 10.2: Corrección K para las transmisiones indirectas

En los casos habituales el número de elementos de flancos a considerar es 4. Si se cubren una o más elementos constructivos de flancos con capas adicionales, (paredes revestidas), con una frecuencia de resonancia f_0 < 125 Hz, las densidades superficiales de los elementos constructivos cubiertos no se tiene en cuenta en el cálculo de los valores de la masa media.

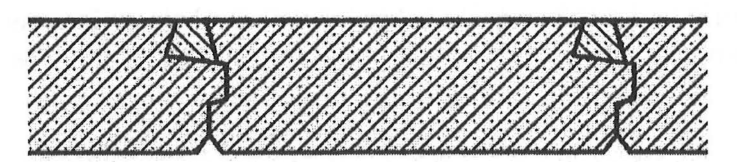
Los valores del nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado $L'_{n,w}$, obtenidos mediante cálculo según el modelo simplificado están en un intervalo de ± 4 dB con respecto a los valores medidos.

TIPOS BÁSICOS DE FORJADOS QUE SE COMPORTAN COMO HOMOGÉNEOS

1) Forjados sin huecos

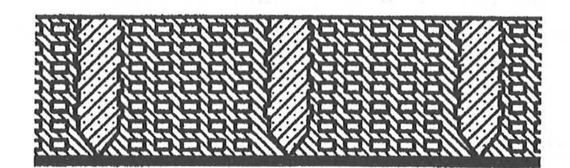


Forjado de hormigón macizo fabricado in situ

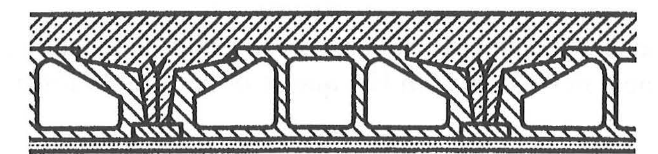


Forjado de hormigón aireado fabricado en autoclave

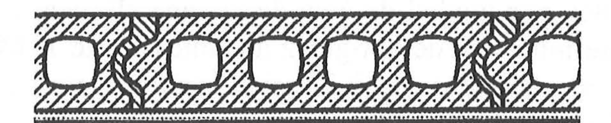
2) Forjados con huecos



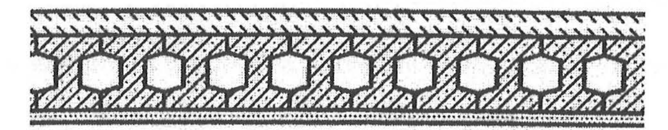
Forjado de ladrillo perforado



Forjado de vigas y bovedillas



Forjado de losas de hormigón anchas



Forjado de vigas de hormigón

Figura 10.9: Forjados que se comportan como homogéneos

10.7 REDUCCIÓN DEL NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA PONDERADO DE IMPACTOS ΔL_W DE SUELOS FLOTANTES.

Existen muy diferentes tipos de acabados de los suelos y la mejora del aislamiento del ruido de impactos de cada uno de ellos depende del forjado soporte. Por esta causa para las mediciones normalizadas en los laboratorios los forjados normalizados son para suelos pesados (UNE-EN ISO 140-8) y para suelos ligeros (UNE-EN ISO 140-11).

En la aplicación de la ISO 140-8 el forjado de referencia es una losa de hormigón reforzado de espesor 140 mm. Para la aplicación de la ISO 140-11 y para representar los muy diferentes suelos ligeros utilizados en los diferentes países, se utilizan tres modelos de suelos de madera. Habitualmente se utiliza como fuente de ruidos la máquina de impactos normalizada y también se puede utilizar un balón de caucho.

La Norma UNE-EN 12354-2 en su Anexo C proporciona para suelos flotantes unas expresiones para calcular la reducción del nivel de presión acústica de impactos, ΔL, cuando no se tienen valores disponibles medidos en laboratorio y de la reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos ΔL_w.

Reducción del nivel de presión acústica de impactos, ΔL

Para calcular la reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL de suelos flotantes, en ausencia de datos medidos en laboratorio, se pueden utilizar las siguientes expresiones:

Suelos flotantes hechos de arena/cemento o sulfatos de calcio.
La reducción del nivel de presión acústica puede calcularse mediante la expresión:

$$\Delta L = 30\lg\frac{f}{f_0} \quad dB \qquad (10.25)$$

donde f es la frecuencia central de la banda de tercio de octava, en Hz; f_0 es la frecuencia de resonancia del sistema, en Hz, que se obtiene de la fórmula

$$f_0 = 160\sqrt{\frac{s'}{m'}} \quad Hz \qquad (10.26)$$

s′ es la rigidez dinámica por unidad de área de la capa elástica, según la Norma EN 29052-1 Acústica. Determinación de la rigidez dinámica. Parte 1: Materiales utilizados bajo suelos flotantes en viviendas, medidos sin ninguna carga, en MN/m^3. m′es la densidad superficial del suelo flotante, en kg/m^2.

Suelos flotantes asfálticos o suelos flotantes secos.

La reducción del nivel de presión acústica puede calcularse mediante la expresión:

$$\Delta L = 40\lg\frac{f}{f_0} \quad dB \qquad (10.27)$$

En el caso que haya dos o más capas elásticas que cubran todo el suelo sin separaciones ni cortes, la rigidez dinámica total resultante por unidad de área se debe calcular mediante la expresión

$$s' = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^{i=n}\frac{1}{s_i'}\right)} \qquad (10.28)$$

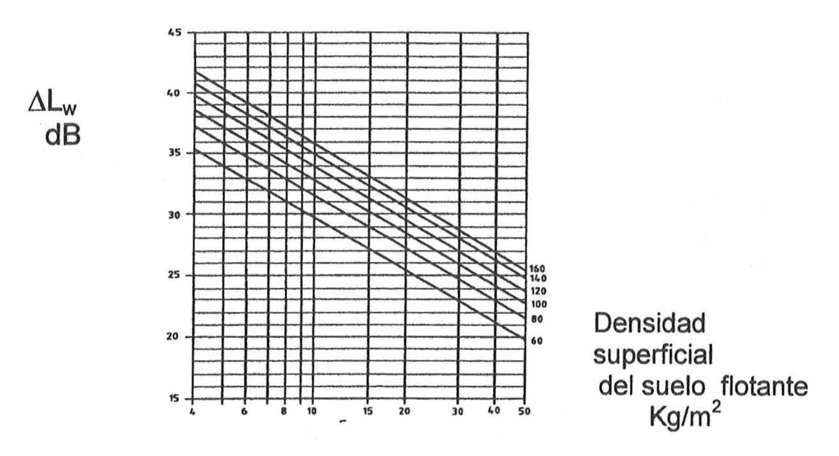
Por ejemplo, la rigidez dinámica de la lana mineral de densidad 60 kg/m^2 es s′= 8 MN/m^3.

Para frecuencias inferiores a $2\sqrt{f_0} \quad Hz$, el suelo flotante y el suelo estructural están acoplados y las mejoras del aislamiento acústico al ruido aéreo son debidas únicamente al aumento de la masa del suelo flotante.

Reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos ΔL_w

La reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos ΔL_w es función de la masa por unidad de superficie del suelo flotante y de la rigidez dinámica por unidad de área de la capa elástica intermedia.

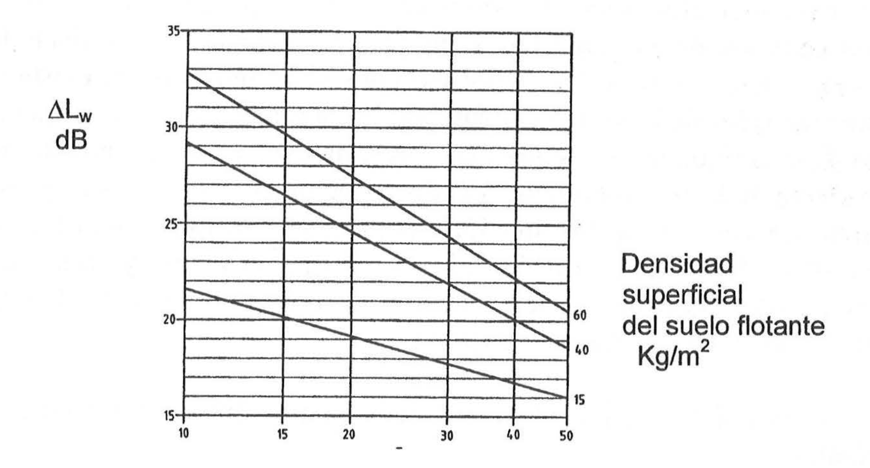
1) Suelos flotantes construidos de arena/cemento o sulfato cálcico



Rigidez dinámica s´ de la capa elástica, MN/m^3

Figura 10.10: ΔL_w de suelos flotantes de arena/cemento o sulfato cálcico

2) Suelos flotantes hechos a base de asfalto o suelos flotantes secos.



Rigidez dinámica s´de la capa elástica, MN/m^3

Figura 10.11: ΔL_w de suelos flotantes secos

Mediante la aplicación de las ecuaciones 10.25, 10.26 y 10.27 a un suelo flotante de hormigón de densidad de masa superficial 100 kg/m^2 y a un suelo flotante de tableros de partículas de densidad de masa superficial 30 kg/m^2, se obtienen los resultados que se muestran en la figura 10.12. La capa elástica considerada es lana de roca de densidad alta y rigidez dinámica s´= 19 MN/m^3

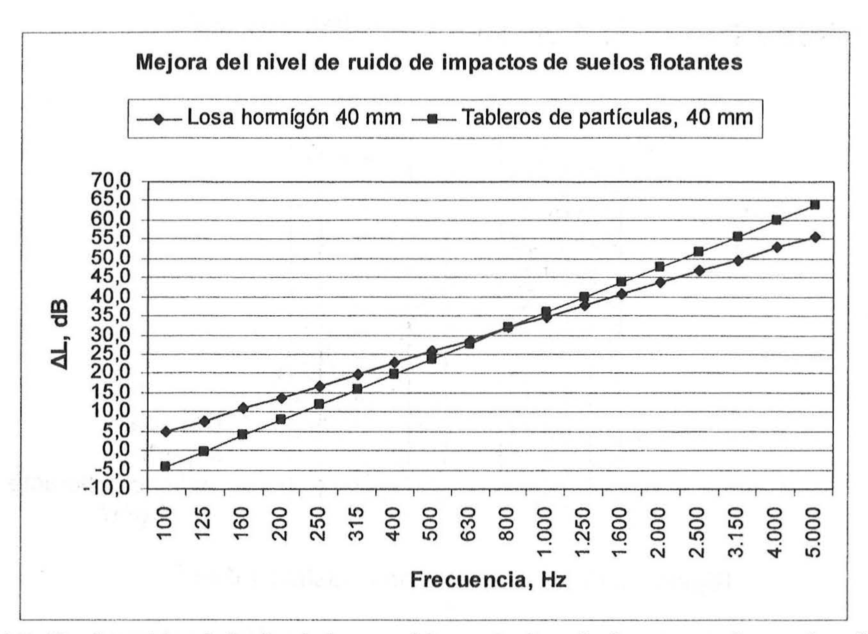


Figura 10.12: Reducción del nivel de presión acústica de impacto de suelos flotantes de una losa de hormigón y de tableros de partículas.

10.8 PROCEDIMIENTOS PARA MEJORAR EL AISLAMIENTO A RUIDO DE IMPACTOS EN LOS RECINTOS

Como en cualquier problema de control del ruido se puede actuar sobre la fuente del ruido, los caminos de propagación y en el local receptor. Para aislar los ruidos de impactos en el caso de forjados es preciso colocar recubrimientos elásticos y flexibles para reducir el valor de la fuerza transmitida. En la práctica, los experimentos realizados con losas de hormigón de diferentes espesores, muestran que el aumento de la masa del suelo no afecta de forma importante a la disminución de los niveles de presión de ruidos de impacto. En general, la disminución del nivel de presión sonora transmitida por la estructura de edificios de hormigón es de 5 a 6 dB por planta y en suelos de losas de continuas de hormigón de 1,5 a 2 dB/m. Una forma efectiva de disminuir el ruido estructural es mediante juntas de dilatación.

Algunos procedimientos para mejorar el aislamiento contra los ruidos de impacto son los siguientes:

a) - Cubiertas amortiguadoras

Están formadas por capas de materiales con gran capacidad de deformación. Amortiguan la energía del impacto, reducen la potencia acústica transmitida al suelo estructural, pero no mejoran el aislamiento acústico a ruido aéreo del sistema. En general son materiales de reacción localizada, que disminuyen de forma importante la energía del impacto sobre el elemento estructural que cubren. En el caso de cubiertas amortiguadoras tales como, alfombras y moquetas, se puede superar la eficacia como amortiguadores de ruido de impactos de los suelos flotantes.

El tratamiento con una superficie elástica de la cara superior de un suelo estructural aumenta de forma importante su aislamiento contra el ruido de impactos, pero no aumenta el aislamiento frente a los ruidos aéreos.

Otros revestimientos del suelo
Los revestimientos delgados del suelo se suelen clasificar de acuerdo con las Normas UNE-EN-ISO 685(1996) y EN 685/1. El comportamiento ante el ruido de impactos de los revestimientos del suelo delgados es muy variado, dependiendo de su espesor, base elástica sobre la que se colocan, número de capas, etc. Los revestimientos pueden ser de linóleo, vinílicos, de corcho, de caucho sintético, suelos de madera laminada, etc.

b) Suelos flotantes

Un suelo flotante es aquel que se apoya sobre un suelo estructural, pero que está completamente separado de éste mediante elementos elásticos y flexibles, de manera que ningún punto del suelo flotante está en contacto con el suelo estructural. La realización de un suelo flotante es una buena solución constructiva para aumentar el aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos y disminuir el nivel de ruido de impactos en los recintos contiguos.

Los elementos elásticos y flexibles que se suelen colocar habitualmente son:
1) materiales absorbentes porosos, tales como lana de roca o fibra de vidrio de espesor de 12 a 40 mm y en general de alta densidad. Se colocan sobre el forjado y encima de ellos se coloca una lámina impermeable.
2) Láminas de polietileno expandido o reticulado de diferentes espesores.
3) Poliestireno expandido elastificado de espesores 20-40 mm.

De los elementos elásticos colocados bajo el suelo flotante es necesario conocer su rigidez dinámica por unidad de área, s´, pues su valor tiene una gran influencia sobre la mejora de aislamiento a ruido de impactos.

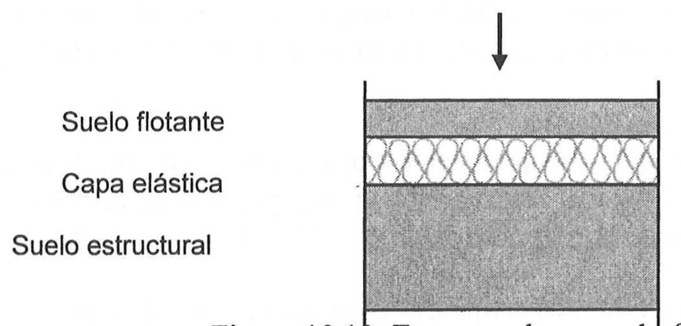


Figura 10.13: Esquema de un suelo flotante

Los impactos sobre el suelo flotante le hacen vibrar, pero el apoyo elástico, hace que únicamente una parte de la energía vibratoria se transmita al suelo estructural. En consecuencia, el suelo estructural radia menos energía al recinto subyacente, que en caso que el impacto se realizase sobre el suelo estructural.

El conjunto formado por el suelo flotante y la capa elástica puede considerarse como un sistema masa-muelle-amortiguador, y en consecuencia el desacoplamiento entre ambos suelos depende de la frecuencia.

El suelo flotante se puede apoyar sobre aisladores comercializados, apoyados en puntos o en líneas. También es habitual el uso de capas continuas semirrígidas de lana de roca o fibra de vidrio, polietilenos o poliestireno elastificado (EEPS). Los aisladores y la capa elástica deben ser elegidos de acuerdo con la carga aplicada y su durabilidad. Hay que considerar la deflexión de la capa elástica blanda sobre la que se apoya el pavimento. Es imprescindible evitar toda unión rígida entre el suelo flotante y cualquier otro elemento estructural (forjados, paredes, pilares, etc.).

El suelo flotante reduce el ruido en las salas emisora y receptora. Disminuye los caminos directos e indirectos a través del suelo.

Un caso particular de suelo flotante es la *losa flotante*, formada por una capa de mortero armado con mallazo y cuyo espesor varía de 4 a 8 cm.

Realización de suelos flotantes.

En edificios de viviendas de uso residencial, los suelos flotantes de cada recinto de una misma vivienda deben ejecutarse cada uno de ellos independientemente de los demás.

Para garantizar una disminución en el nivel de ruidos de impacto en el local subyacente, la correcta realización práctica del suelo flotante conlleva:

- Perfecta limpieza del suelo estructural, evitando cualquier tipo de punzamiento de la capa elástica.
- Total continuidad de la capa elástica. Se aconseja solapes de al menos 10 cm.
- Ausencia de contactos del suelo flotante con las paredes perimetrales y los rodapiés. En todo el perímetro se debe colocar un material elástico de 5 a 10 mm de espesor, que sobrepase en altura al suelo flotante una vez realizado. El exceso de material que sobresale no debe cortarse hasta haber colocado el rodapié correspondiente. Para colocar el rodapié se dobla el material elástico que sobrepasa el nivel del solado, se coloca encima el rodapié y posteriormente se corta el material que sobresale. Con lo anterior se evita el puente acústico entre el suelo flotante y la pared a través del rodapié.
- Ausencia de dobleces en la capa elástica.
- Al realizar una losa flotante, hay que proteger la capa elástica con una lámina de plástico impermeable, capa de papel embreado o graso, que impida el paso de la humedad y derrames del mortero. Si penetran en el material elástico y flexible lo vuelven rígido.
- Ausencia de puentes acústicos. Evitar toda tipo de unión rígida entre el suelo flotante y cualquier otro elemento estructural (forjados, paredes, pilares, conducciones, etc.).
- Diseñar correctamente los detalles de las canalizaciones, con el fin de evitar conexiones rígidas.

La realización de las losas flotantes es una tarea delicada y exige muchos cuidados tanto de los trabajadores que la realizan como de los que tienen que colocar posteriormente los revestimientos del suelo, paredes, rodapiés, etc. Si la losa presenta defectos de realización, estos son muy difíciles de eliminar, y es necesario hacer otra nueva. Los suelos flotantes llevan productos antihumedad y los tiempos de curado de los morteros

son mayores. En la figura 10.14 se muestran algunos detalles de realización de un suelo flotante para su correcto funcionamiento.

La figura 10.15 muestra algunos de los defectos más habituales en la realización de un suelo flotante.

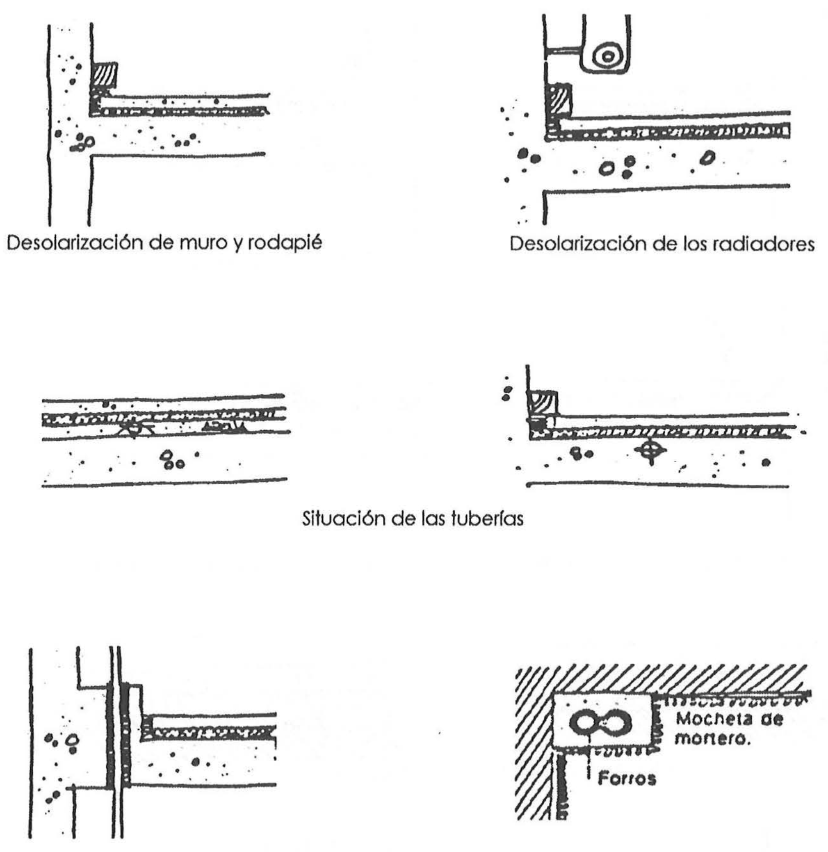


Figura 10.14: Detalles constructivos para una realización correcta de un suelo flotante.

- La realización de las losas flotantes requiere una mano de obra especializada.

- Hay que determinar el espesor necesario de la lana mineral. La lana mineral debe ir cubierta de una lámina de polietileno que la proteja de la losa.

- El mortero debe ser lo suficientemente resistente para que no se produzcan fisuras, la dosificación en volumen del cemento, arena y gravilla suele ser 1:2:3. En superficies de losa de superficies mayores de 30 m^2, hay que realizar juntas de dilatación.

- Las instalaciones se deben proteger con bandas desolidarizadoras elásticas. Las instalaciones de agua caliente o suelos radiantes deben colocarse por encima de la capa elástica de separación, las de agua fría por debajo. En este último caso al colocarse primero los conductos de las instalaciones, estos se protegerán con mortero, y después se nivelará la superficie con una capa de arena.

Se deben seguir las recomendaciones de los fabricantes de los diferentes productos resilientes que se colocan para separar el forjado del suelo flotante.

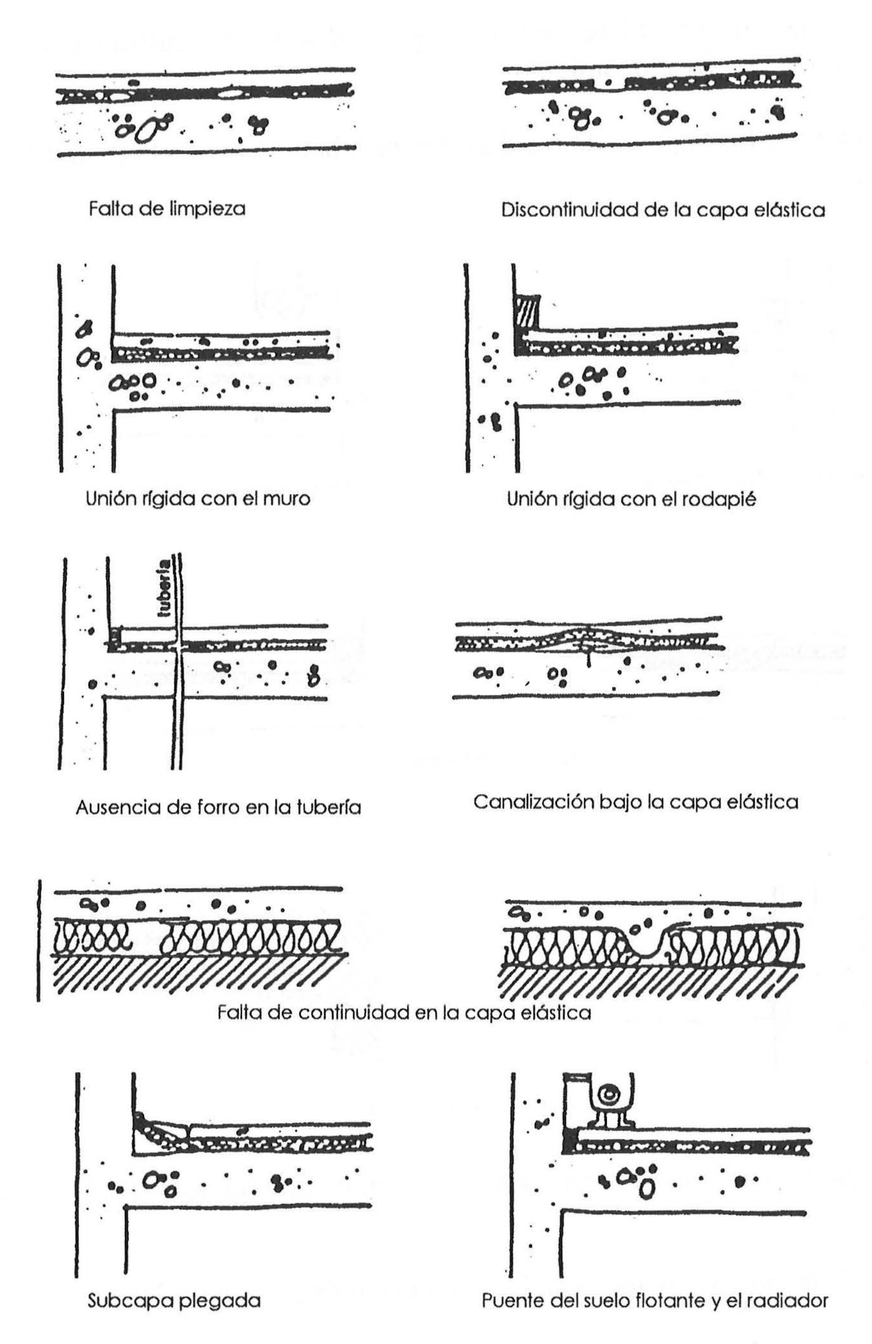


Figura 10.15: Defectos más habituales en la realización de un suelo flotante.

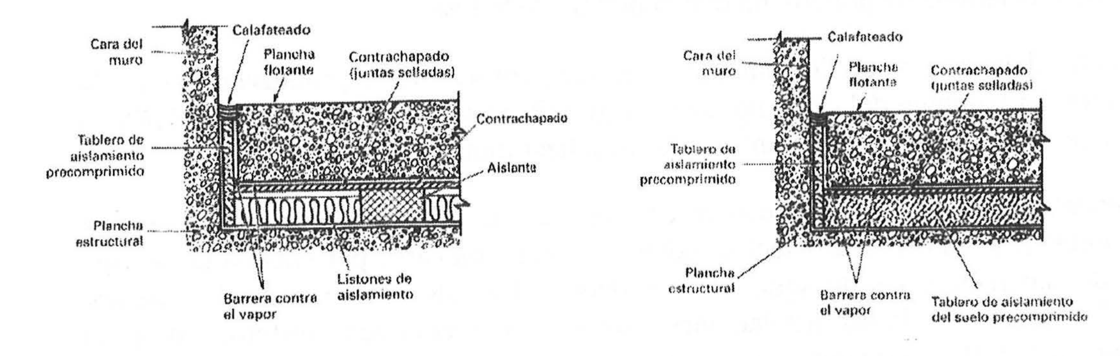


Figura 10.16: Ejemplos de construcción de una losa flotante, sobre aisladores comercializados y sobre una manta de lana de roca o fibra de vidrio.

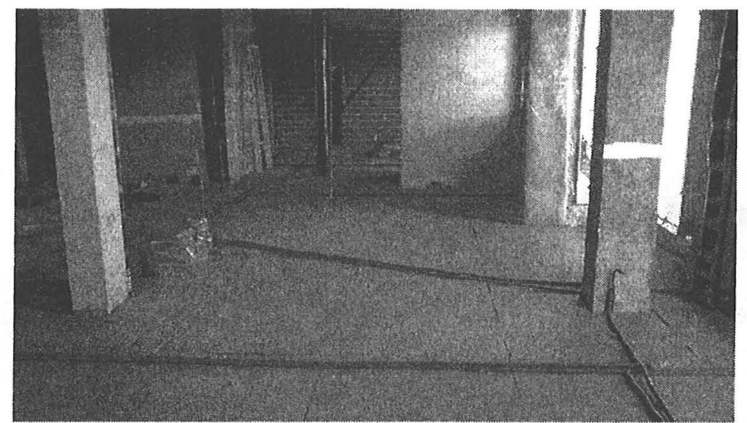


Figura 10.17: Las instalaciones se deben colocar por encima de la capa de lana mineral.



Figura 10.18: Detalle de encuentro con los pilares

Parquet flotante

El parquet colocado sobre el suelo estructural, bien por medio de durmientes o bien encolado, aporta una ligera mejora del aislamiento de los ruidos de impacto, debido a la diferencia de elasticidad entre la madera y el suelo estructural. El parquet encolado directamente sobre el suelo estructural es menos eficaz contra el ruido de impactos que el colocado sobre durmientes.

Los suelos de tablas de madera sobre durmientes de madera, reducen el nivel de ruido de impactos, en especial cuando se rellenan por debajo de las tablas con material poroso, pero son poco eficaces en la mejora del índice de reducción acústica del sistema. Se deben colocar sobre una base elástica. Los durmientes deben ser de base ancha y estar unidos entre sí y desolarizados de las paredes del recinto. La figura 10.19 muestra la realización de un parquet flotante sobre placas de fibra mineral y un suelo de tablas de madera.

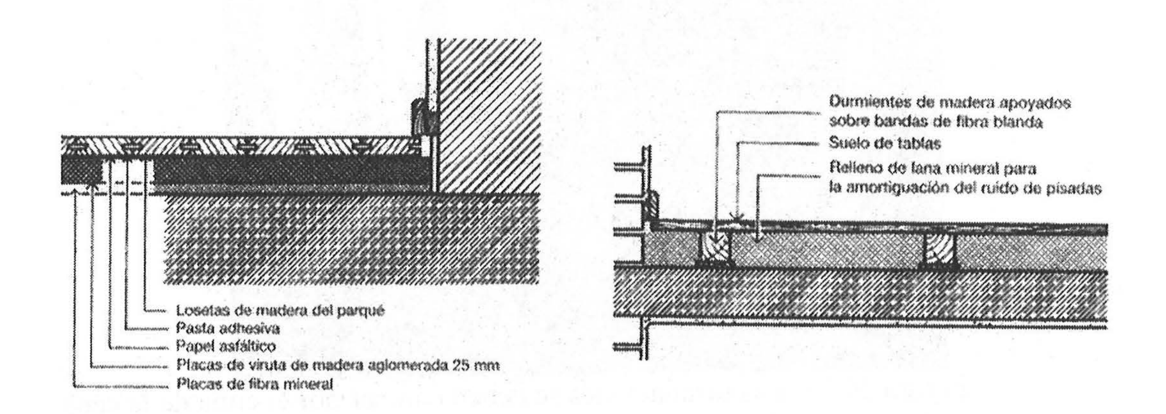


Figura 10.19: Ejemplos de parquet flotante y suelo de tablas de madera.

La figura 10.20 muestra los resultados medidos en laboratorio de la mejora del nivel de ruido de impactos ΔL de varios tipos de parquet según su diferente colocación.

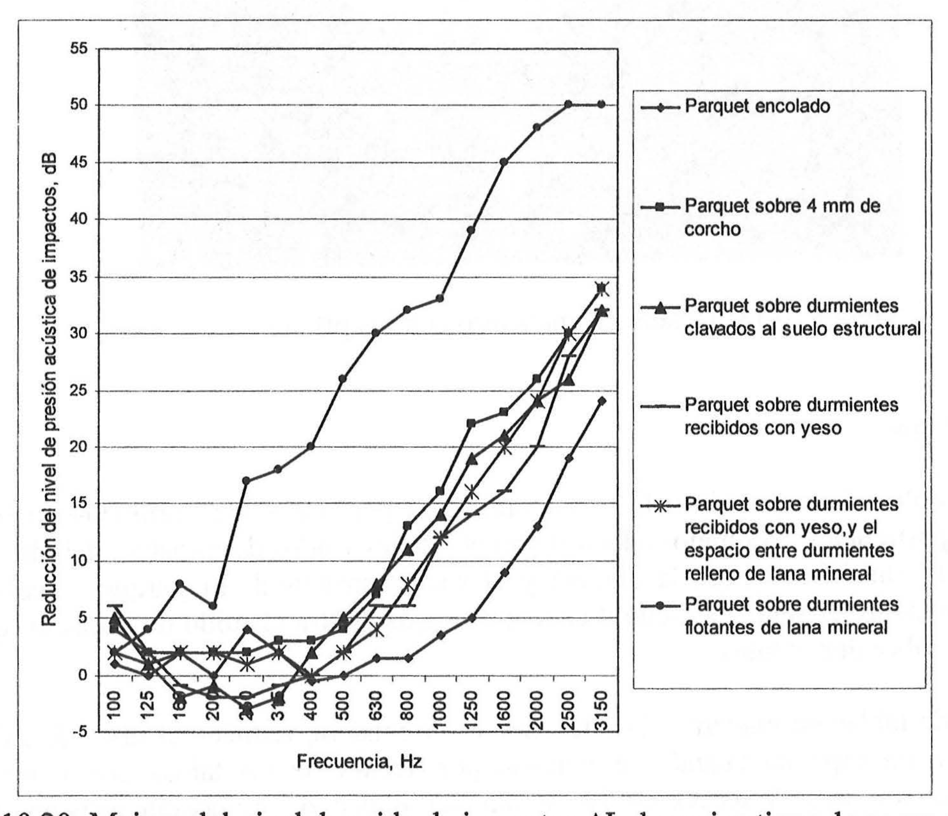


Figura 10.20: Mejora del nivel de ruido de impactos ΔL de varios tipos de parquet.

En la figura 10.21 se muestran los resultados de mediciones en laboratorio de la mejora del nivel de ruido de impactos de algunos suelos flotantes.

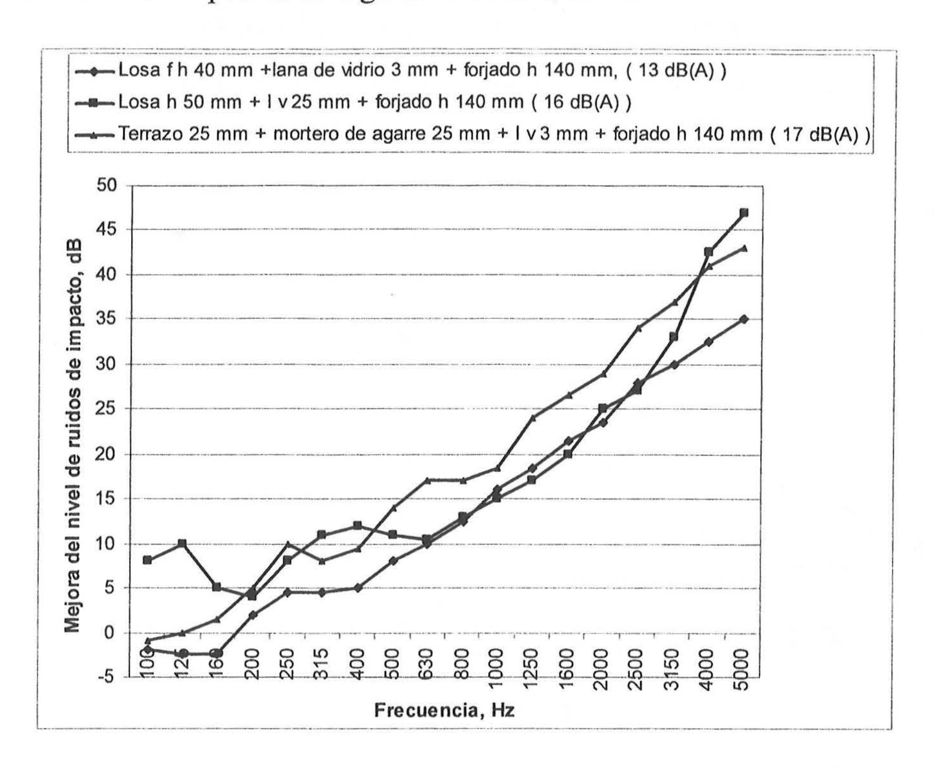


Figura 10.21: Mejora del nivel de ruido de impactos de algunos suelos flotantes

En la figura 10.22 se muestran los ensayos de laboratorio de las mejoras del ruido de impactos producidos por dos tipos de suelos flotantes cuya composición se indica a continuación:

COMPOSICIÓN	Valores globales
Losa flotante de hormigón de 4,5 cm + lámina de polietileno de espesor 0,2 mm + panel de lana mineral de alta densidad de espesor 15 mm + forjado normalizado de laboratorio de espesor 140 mm	$\Delta L_w = 34$ dB; $C_{I\Delta} = -11$ dB $\Delta L_A = 32,8$ dBA
Pavimento de tarima de madera o laminado de espesor 8 mm + lámina de polietileno de espesor 0,2 mm + panel de lana de roca de muy alta densidad de espesor 24 mm + forjado normalizado de laboratorio de espesor 140 mm	$\Delta L_w = 22$ dB; $C_{I\Delta} = -11$ dB $\Delta L_A = 20,6$ dBA

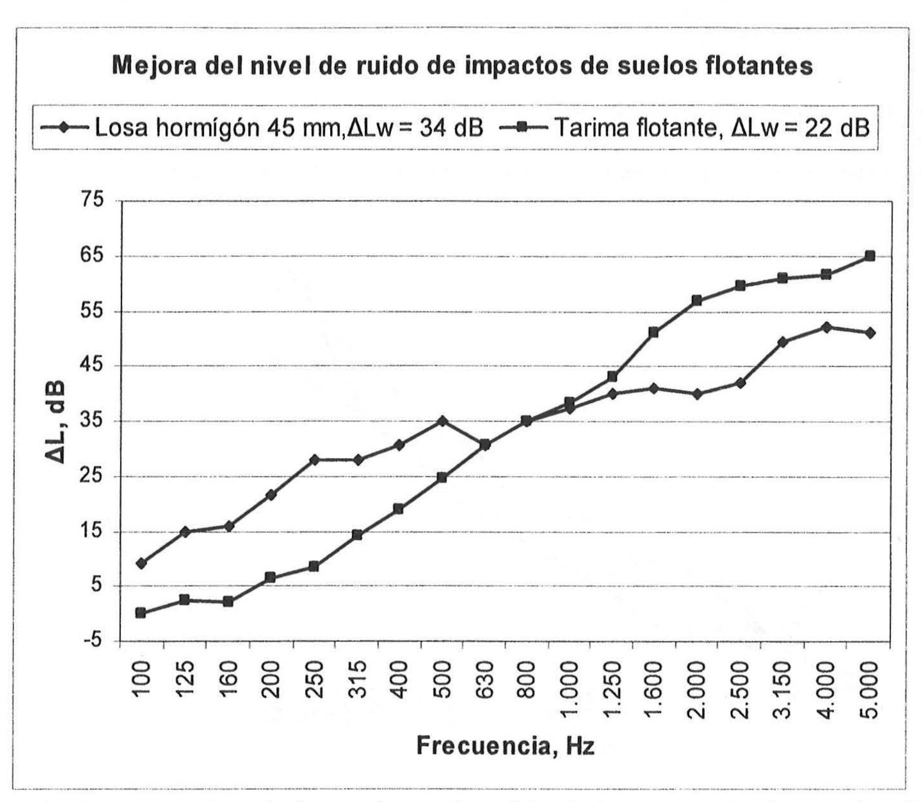


Figura 10.22: Comparación de las mejoras de ruido de impactos de dos suelos flotantes

c) Falsos techos

Son otro dispositivo que contribuye a reducir el ruido producido por los impactos. Como se observa en la figura 10.23, la colocación de un techo suspendido elásticamente disminuye la transmisión sonora directa a través del suelo, pero prácticamente no afecta a las transmisiones indirectas.

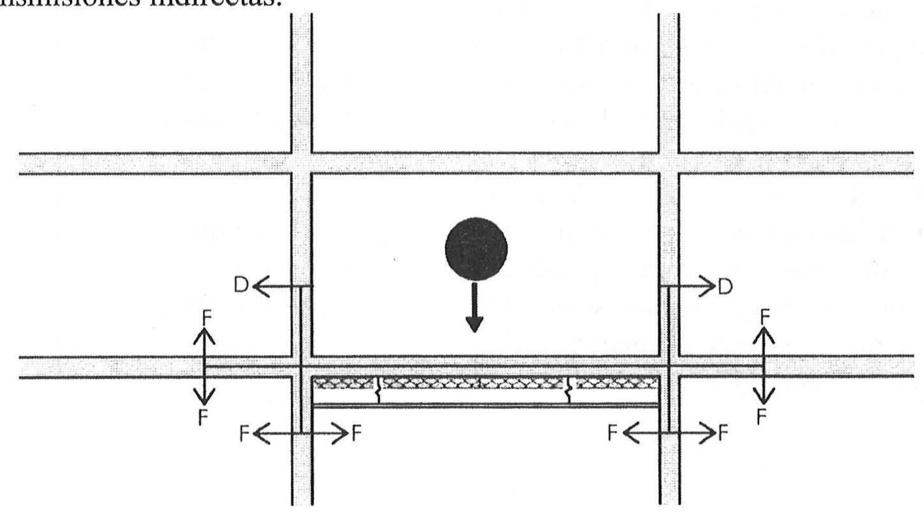


Figura 10.23: Efecto de un techo acústico suspendido elásticamente

Los falsos techos de yeso laminado suspendidos elásticamente se cuelgan del techo estructural o de otra estructura mediante cables o varillas que incorporan aisladores que reducen la transmisión de las vibraciones del suelo estructural al techo suspendido. En la cámara entre el forjado y las placas de yeso laminado se coloca material absorbente poroso. Mejoran el aislamiento acústico a ruido aéreo y al ruido de impactos. En general, el hecho de colocar un falso techo no evita la existencia de transmisiones indirectas.

Los falsos techos son menos eficaces, para reducir el ruido de impactos, que los suelos flotantes y las cubiertas amortiguadoras.

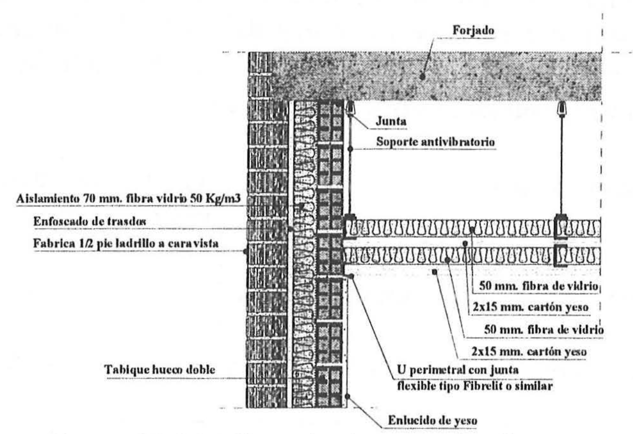


Figura 10.24: Ejemplo de un techo flotante.

En recintos que requieran valores elevados de aislamiento a ruido aéreo y reducción del nivel de ruido de impactos es necesario que en el recinto inferior se realice un tratamiento completo de paredes, techos y suelos, es decir realizar una caja dentro de otra caja.

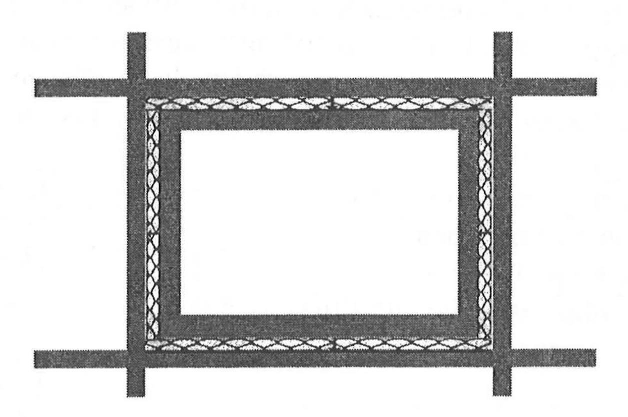


Figura 10.25: Procedimiento para conseguir una elevada protección contra ruidos aéreos y de impactos

En los falsos techos no deben utilizarse placas de escayola, pues están suspendidas rígidamente con estopa y/o unidos rígidamente a las paredes del recinto y tampoco tienen material absorbente acústico en la cámara.

10.9 MEJORA DEL AISLAMIENTO DE RUIDO DE IMPACTOS DE ALGUNAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

La reducción del nivel de presión acústica de impactos ΔL (mejora del aislamiento a ruidos de impacto) de un revestimiento del suelo, se obtiene en laboratorio a partir de un forjado de hormigón de espesor normalizado de 120-140 mm. En consecuencia cuando el recubrimiento se coloca sobre un elemento de separación horizontal ligero los resultados suelen ser diferentes, esto es lo que ocurre cuando se colocan sobre forjados de madera. En la tabla siguiente se indican algunos valores típicos de las mejoras producidas en laboratorio por diferentes revestimientos del suelo. En los proyectos en los que se deban justificar los resultados se debe solicitar al fabricante los resultados obtenidos en los ensayos realizados en laboratorios acreditados.

Solución constructiva	Mejora de aislamiento a ruido de impacto ΔL_w en dB
Revestimientos vinílicos sin capa amortiguadora inferior	5
Revestimientos vinílicos con capa amortiguadora inferior	8-18
Revestimientos de corcho	7-10
Revestimientos de caucho sintético	8-14
Parquet de corcho	10
Plástico sobre espuma	11
Moqueta, espesor 3-5 mm	16-18
Moqueta, espesor 6-8 mm	21-23
Moqueta con base amortiguadora, espesor 6-8 mm	24-29
SUELOS FLOTANTES	
La mejora del aislamiento a ruido de impacto está muy influenciada por la rigidez dinámica de la capa intermedia, (de 10 a 50 MN/m^3), cuanto menor es la rigidez dinámica mayor es la mejora. Si el revestimiento del suelo es elástico la mejora es algo mayor, de 1 a 4 dB. La masa por unidad de superficie de la losa de hormigón es ≥ 70 kg/m^2	
Flotante de hormigón sobre fieltro bituminoso	15-17
Flotante de hormigón sobre fibra mineral	25-33
Flotante de hormigón sobre polietileno	15-20
Flotante de hormigón sobre planchas elastificadas de poliestireno expandido.	25-30
Flotante de parquet	12-20
Flotante de yeso laminado de gran dureza	18-23
TECHOS	
Falso techo flotante de yeso laminado(12 kg/m^2) suspendido elásticamente, con lana mineral en la cámara	10

Tabla 10.3: Mejora del aislamiento a ruido de impactos de algunos sistemas constructivos.

10.10 LAS EXIGENCIAS DE AISLAMIENTO AL RUIDO DE IMPACTOS EN EL DB HR Protección frente al ruido del CTE

Este documento básico del Código Técnico de la Edificación española exige los siguientes valores mínimos en cuanto al aislamiento a ruido de impactos.

Los elementos constructivos de separación horizontales deben tener, en conjunción con los elementos constructivos adyacentes, unas características tales que se cumpla para los *recintos protegidos*:

a) Protección frente al ruido procedente de otras *unidades de uso*:

   El *nivel global de presión de ruido de impactos,* $L'_{nT,w}$, en un *recinto protegido* colindante vertical, horizontalmente o que tenga una arista horizontal común con cualquier otro que pertenezcan a una *unidad de uso* diferente, no será mayor que 65 dB.

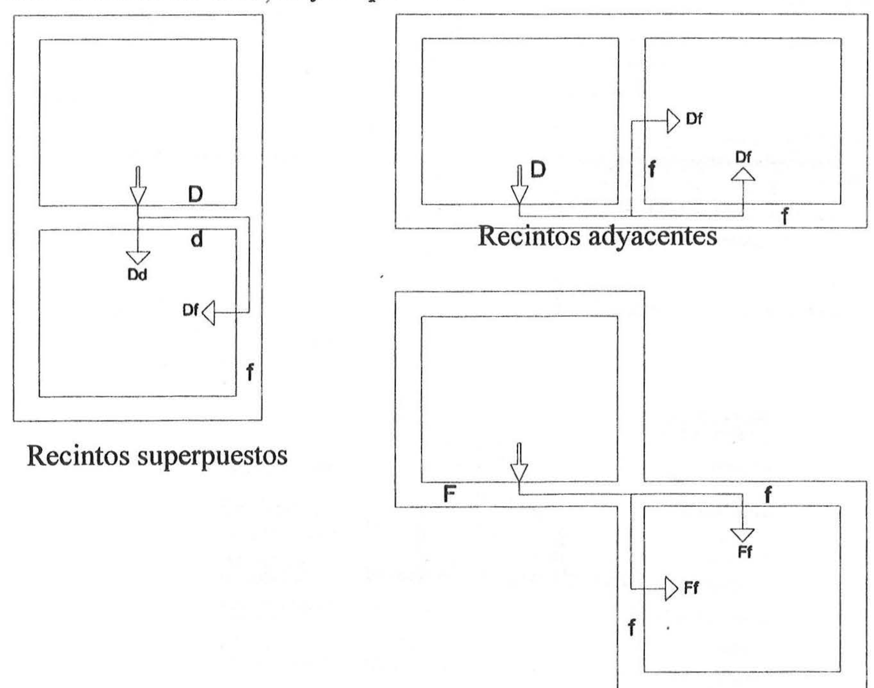
b) Protección frente al ruido procedente de *zonas comunes*:

   El *nivel global de presión de ruido de impactos,* $L'_{nT,w}$, en un *recinto protegido* colindante vertical, horizontalmente o que tenga una arista horizontal común con una *zona común* del edificio no será mayor que 65 dB.

   Esta exigencia no es de aplicación en el caso de *recintos protegidos* colindantes horizontalmente con una escalera situada en una *zona común.*

c) Protección frente al ruido procedente de *recintos de instalaciones* o de *recintos de actividad*

   El *nivel global de presión de ruido de impactos,* $L'_{nT,w}$, en un *recinto protegido* colindante vertical, horizontalmente o que tenga una arista horizontal común con un *recinto de actividad* o con un *recinto de instalaciones* no será mayor que 60 dB.



Recintos con una arista horizontal común

Figura 10.26: Sección vertical de los caminos de transmisión de ruido de impacto entre dos recintos.

Para el diseño y dimensionado de los elementos constructivos, puede elegirse una de las dos opciones, simplificada o general. En las dos opciones, para la definición de los elementos constructivos que proporcionan el *aislamiento acústico a ruido aéreo*, deben conocerse sus valores de masa por unidad de superficie, m, y de índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A, y, para el caso de ruido de impactos, además de los anteriores, el nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, $L_{n,w}$. Los valores de R_A y de $L_{n,w}$ pueden obtenerse mediante mediciones en laboratorio según los procedimientos indicados en la normativa correspondiente, mediante tabulaciones incluidas en Documentos Reconocidos del CTE o mediante otros métodos de cálculo sancionados por la práctica.

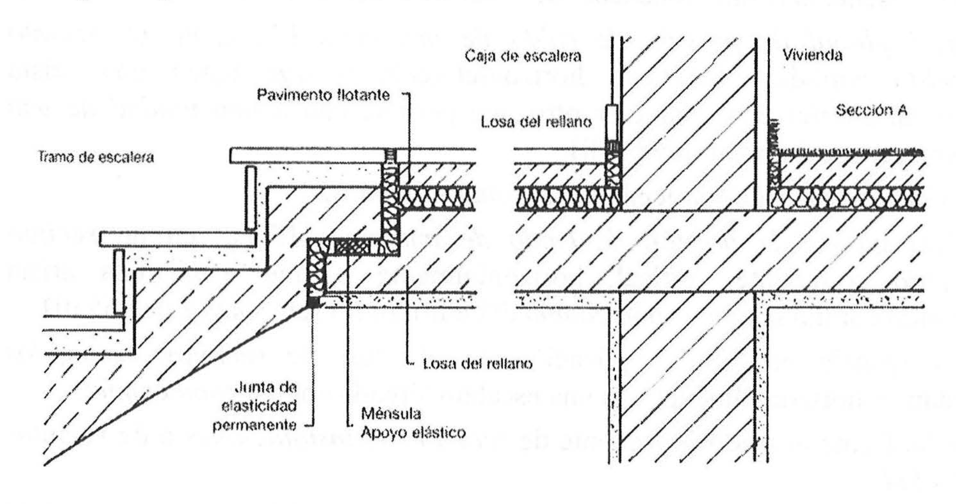


Figura 10.27: Ejemplo de tratamiento de los tramos de escalera y rellanos de la misma, según la Norma DIN 4109, para disminuir los ruidos producidos al subir y bajar los peldaños de las escaleras.

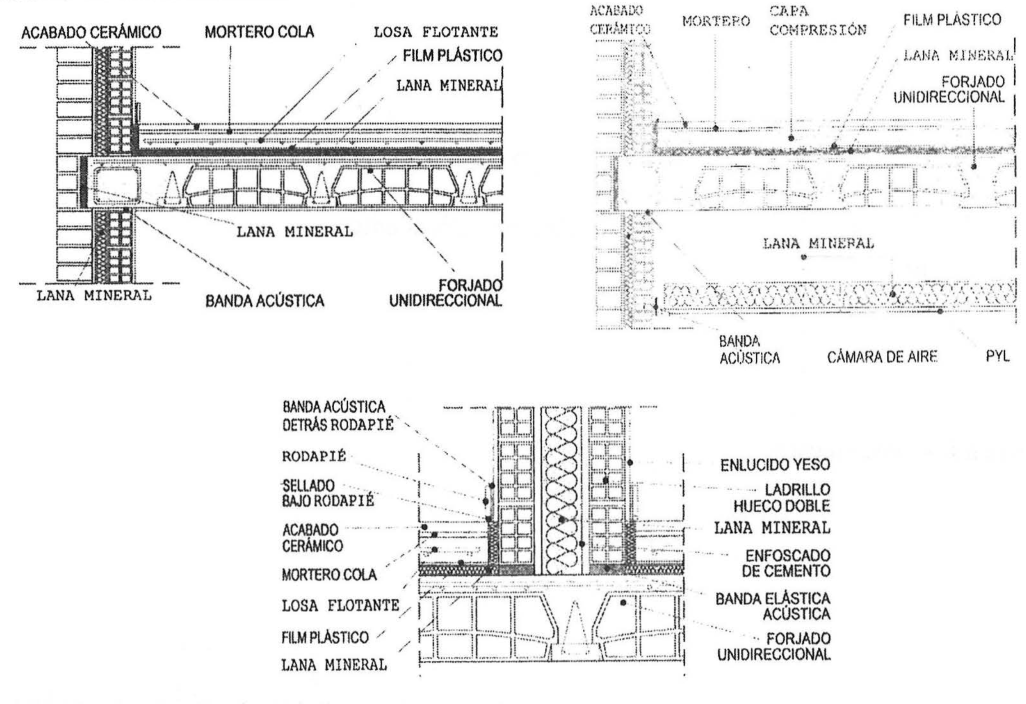


Figura 10.28: Detalle de losas flotantes y su encuentro con las paredes.

EJEMPLOS DE AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO Y A RUIDO DE IMPACTOS DE ELEMENTOS HORIZONTALES DE SEPARACIÓN

Esquema de la sección	Composición	Espesor	R_w; dB	$L_{n,w}$ dB
	Forjado ligero de hormigón (sólido o perforado) con una capa de nivelación de 30-50 mm. Masa aproximada m'= 100 kg/m2. Sin acabados superior e inferior.	100-150 mm.	**35-40**	**90-95**
	Forjado ligero de hormigón (sólido o perforado) con una capa de nivelación de 30-50 mm, con una cubierta amortiguadora suave de espesor > 5 mm. Masa aproximada m'= 100 kg/m2	105-155 mm.	**35-40**	**75-85**
	Forjado ligero de hormigón (sólido o perforado) con una capa de nivelación de 30-50 mm, con un suelo flotante que consta de un tablero de maderas machihembradas de espesor 15 mm sobre unos tableros de contrachapado de madera de espesor 15 mm, apoyado sobre almohadillas de espumas de celula abierta de 25 mm de espesor.	155-205 mm.	**50-60**	**50-60**
	Forjado ligero de hormigón (sólido o perforado) con una capa de nivelación de 30-50 mm, con un suelo flotante que consta de un tablero de maderas machihembradas de espesor 15 mm sobre unos tableros de contrachapado de madera de espesor 15 mm, apoyado una capa continua de espumas de célula abierta de 20 mm de espesor.	150-200 mm	**50-55**	**55-60**
	Forjado de hormigón (sólido o perforado) con una capa de nivelación de 30-50 mm, m'> 365 kg/m2. con una cubierta amortiguadora suave de espesor > 5 mm.	150-200 mm	**50-55**	**60-65**
	Forjado de hormigón (sólido o perforado) con una capa de nivelación de 30-50 mm, m'> 365 kg/m2, con un suelo flotante que consta de un tablero de maderas machihembradas de espesor 15 mm sobre unos tableros de contrachapado de madera de espesor 15 mm, apoyado sobre almohadillas de espumas de célula abierta de 25 mm de espesor.	200-250 mm	**55-60**	**50-55**
	Forjado de hormigón (sólido o perforado) con una capa de nivelación de 30-50 mm, m'> 365 kg/m2,, con un suelo flotante que consta de un tablero de maderas machihembradas de espesor 15 mm sobre unos tableros de contrachapado de madera de espesor 15 mm, apoyado una capa continua de espumas de célula abierta de 20 mm de espesor, y guarnecido de yeso 10 mm.	175-230 mm	**50-55**	**55-60**

Tabla 10.4: Resultados globales del aislamiento a ruido aéreo y ruido de impactos de elementos constructivos horizontales en laboratorio.

EJERCICIO 1

El nivel normalizado de presión sonora de impactos de un sistema constructivo medido en laboratorio es el que se muestra a continuación.

Frecuencia, Hz	125	250	500	1.000	2.000	4.000
L_n , dB	71,9	78,9	78	79	80	82,1

Determínese el nivel normalizado ponderado de presión de ruido de impactos $L_{n,w}$ y el término de adaptación espectral (C_I).

EJERCICIO 2

Determínese el nivel estandarizado ponderado de presión de ruido de impactos $L'_{nT,w}$ y el término de adaptación espectral (C_I) entre dos dormitorios colindantes verticalmente en un edificio de uso residencial según la Norma ISO 717-2. Las mediciones acústicas se han realizado según las recomendaciones de la norma UNE-EN ISO 140-7 (1999) y utilizando una máquina de impactos normalizada. Los niveles sonoros medidos y el tiempo de reverberación del recinto subyacente se muestran en la tabla siguiente

Frecuencia, Hz	125	250	500	1.000	2.000	4.000
L_i , dB	86	85	84	83	82	78
T, s	0,60	0,55	0,38	0,30	0,26	0,24

En la sala receptora el ruido de fondo en cada banda de octava es inferior en más de 10 dB a los valores del nivel de presión sonora L_i

EJERCICIO 3

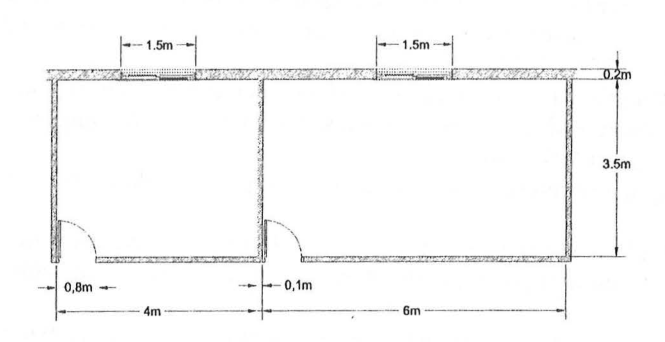
Determínese el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado $L'_{nT,w}$ entre dos salones colindantes verticalmente en un edificio de viviendas según el DB HR Protección frente al ruido. Para la realización del ensayo se utilizó una máquina de impactos normalizada. Las mediciones acústicas se han realizado según las recomendaciones de la norma UNE-EN ISO 140-7 (1999). Los niveles sonoros medidos y el tiempo de reverberación del recinto subyacente se muestran en la tabla siguiente.

Frec (Hz)	Li (dB)	B2 (dB)	T2 (s)
100	59,2	36,3	0,90
125	65,1	33,9	1,81
165	66,7	31,6	1,46
200	65,1	31,0	1,63
250	62,4	23,4	1,45
315	58,7	23,2	1,19
400	52,7	21,2	0,93
500	52,0	19,8	1,29
630	47,2	20,8	1,56
800	45,3	19,7	1,75
1000	42,4	19,5	1,76
1250	38,6	20,2	1,70
1600	38,2	18,2	1,63
2000	34,1	15,6	1,42
2500	30,3	16,4	1,39
3150	28,3	15,9	1,46
4000	28,3	15,4	1,46
5000	28,1	14,0	1,37

EJERCICIO 4

Calcular por el método simplificado de la UNE EN 12354-2 el nivel global de presión de ruido de impactos, $L'_{nT,w}$, entre dos salones y dos dormitorios colindantes verticalmente. Los datos de los sistemas constructivos que delimitan los recintos son los siguientes:

- El elemento horizontal de separación es un forjado unidireccional de hormigón armado con bovedilla cerámica y capas de compresión y nivelación de densidad de masa superficial total 350 kg/m^2.
- Suelo de tarima flotante, sobre 5 mm de polietileno. El espacio entre durmientes está relleno de lana mineral. Densidad de masa superficial 15 kg/m^2, ΔL_w = 16 dB.
- Partición interior: tabique de ladrillo hueco sencillo guarnecidas de yeso sus caras; densidad de masa superficial 70 kg/m^2.
- Pared separadora de otra propiedad de citara de ladrillo cerámico perforado guarnecida de yeso sus superficies, densidad de masa superficial 202 kg/m^2.
- Fachada de citara de ladrillo cerámico perforado, cámara y tabique de ladrillo hueco sencillo; densidad de masa superficial 211 kg/m^2.



BIBLIOGRAFÍA

[1] UNE-EN ISO 140-6- Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.
[2] UNE-EN ISO 140-7- Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos a ruido de impactos.
[3] UNE-EN ISO 140-8 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 8: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimiento de suelos sobre forjado normalizado pesado.
[4] UNE-EN ISO 140-11 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 11: Medición en laboratorio de la reducción del ruido de impactos transmitido a través de revestimiento de suelos sobre suelos ligeros de referencia.
[5] UNE- EN ISO 140-12 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte12: Medición en laboratorio de aislamiento al ruido aéreo y de impactos entre locales con suelo registrable.
[6] UNE-EN ISO 717-2:1996. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.
[7] UNE-EN ISO 717-2: Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos. Modificación 1 (ISO 717-2:1996/AM 1:2006).
[8] UNE-EN 12354-2:2000. Acústica en la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos. (EN 12354-2:2000).
[9] Cremer, L Theorie des Klopfschalles bei Decken mit shwimmendem Estrich. Acústica 2, 1952.
[10] Heckl, M., Rathe, E.J. Relationship between the transmission loss and the impact noise insulation of floor structures. JASA 1963, 35: 1825-1830.
[11] Gerretsen E. Predicting the sound reduction of building elements. Building Acoustics .1999, 6: 225-234
[12] Díaz, C; Pedrero,A. Field measurements of airborne and impact sound insulation between rooms, one on top the other, with beam and pot floor structures. Acta Acustica united with Acustica, Vol 90 (2004), 982-986.
[13] UNE-EN ISO 10848-1: Acústica. Medida en laboratorio de la transmisión por flancos del ruido aéreo y del ruido de impacto entre recintos adyacentes. Parte 1: Documento marco (ISO 10848-1:2006).

[14] UNE-EN ISO 10848-2: Acústica. Medida en laboratorio de la transmisión por flancos del ruido aéreo y del ruido de impacto entre recintos adyacentes. Parte 2: Aplicación a elementos ligeros cuando la unión tiene una influencia pequeña. (ISO 10848-2:2006).

[15] UNE-EN ISO 10848-3: Acústica. Medida en laboratorio de la transmisión por flancos del ruido aéreo y del ruido de impacto entre recintos adyacentes. Parte 3: Aplicación a elementos ligeros cuando la unión tiene una influencia importante.(ISO 10848-3:2006).

ANEXO: EL SONIDO Y SUS MAGNITUDES DE MEDIDA

A.1- INTRODUCCIÓN

Se denomina sonido a la sensación experimentada cuando llegan a nuestro oído las ondas elásticas, producidas por movimientos vibratorios de determinadas características. El sonido se produce por vibraciones de los cuerpos, éstas se transmiten por un medio material en forma de movimiento ondulatorio, que produce vibraciones en la membrana del tímpano y excitan las terminales del nervio acústico que transportan al cerebro los impulsos neuronales que producen la sensación sonora.

El sonido es de gran importancia en la calidad de vida de las personas. Al sonido no deseado, o desagradable, se le denomina *ruido*. La sensación de ruido generalmente está asociada a una variación aleatoria de la presión acústica, por ejemplo circulación de automóviles, el sobrevuelo de un avión, maquinaria en funcionamiento, etc.

La velocidad de propagación del sonido en el aire es proporcional a la raíz cuadrada de su temperatura absoluta. Considerando la relación entre calores específicos a presión constante $\gamma = 1,4$ para el aire, la constante universal de los gases, $R = 8,31.10^3$ J/kmol.K y la masa molecular del aire M = 29 kg/kmol, la velocidad de propagación del sonido en el aire se puede escribir $c = 20,05\sqrt{T}$ m/s. Para temperaturas próximas a 20°C, la velocidad del sonido es $c = 331,5 + 0,58\theta$ m/s, donde θ es la temperatura en °C. En la aplicación de las normativas en la edificación se suelen considerar que la temperatura es de 20°C y la densidad del aire 1,21 kg/m^3, en consecuencia la velocidad del sonido en el aire c = 343 m/s.

La velocidad de propagación de las ondas mecánicas en un medio elástico, depende de las características del mismo, siguiendo en general una expresión de la forma:

$$c = \sqrt{\frac{\text{Propiedad elástica}}{\text{Propiedad inercial}}} \qquad \text{(A-1)}$$

La *expresión fundamental* que relaciona la velocidad de propagación de la perturbación, velocidad de fase de la onda, con la frecuencia a la que se produce la perturbación y la longitud de la onda es:

$$c = \lambda . f \quad m/s \qquad \text{(A-2)}$$

Donde f es la frecuencia (en Hz o s^{-1}) y λ la longitud de la onda (m).

La velocidad de propagación del sonido en el aire, en el rango audible es prácticamente independiente de la frecuencia, es decir, el medio en el que se propaga no es dispersivo. El rango audible de las personas varía con la edad y sus condiciones físicas. Las ondas sonoras producen sensaciones en el sentido del oído cuando la amplitud de la presión acústica supera unos valores umbrales y el rango de frecuencias audibles está entre 20 Hz y 20 kHz.

En la acústica en la edificación el rango de frecuencias de interés suele estar entre las contenidas en las bandas de un tercio de octava de frecuencias centrales entre 50 Hz y 5 kHz. Se suelen considerar: bajas frecuencias las contenidas en las bandas de frecuencia

de 50 a 200 Hz; frecuencias medias las situadas de 250 a 1000 Hz; y altas frecuencias de 1250 a 5000 Hz.

Cuando el receptor de las ondas sonoras es un aparato de medida, existen unas leyes físicas bien determinadas, que relacionan entre si la emisión, propagación y recepción con unas determinadas magnitudes físicas como pueden ser la presión, intensidad y potencia acústicas.

En las medidas acústicas se utiliza la escala logarítmica, su utilización se debe fundamentalmente a dos motivos, el primero es que el rango de sonidos que el oído humano puede percibir, tanto en frecuencias como en amplitudes, es muy amplio. Para mantener una precisión constante al medir estas magnitudes, y no manejar un rango de números muy alto se utiliza la escala logarítmica. El otro motivo es que en el rango de frecuencias audibles, el oído humano responde de forma aproximadamente proporcional al logaritmo decimal de los cambios de presión sonora.

Las magnitudes físicas más usuales en acústica son la presión, la intensidad y la potencia acústicas.

Los intervalos aproximados en los que el oído humano joven y sano puede percibir un sonido son: frecuencias, (20 – 20.000) Hz; presiones, (2.10^{-5} – 10^{3}) Pa; intensidades, (10^{-12} – 200) W/m^2.

Se llama *presión acústica o dinámica*, a la variación de la presión producida en un punto, como consecuencia de la onda que se propaga a través del fluido.

$$p = p_i - p_{at} \qquad \text{(A.3)}$$

p = presión acústica; p_i = presión instantánea en cualquier punto; p_{at} = presión del fluido en reposo. En el Sistema Internacional (SI) la unidad es el Pascal (Pa).

El mecanismo de la audición humano responde a las variaciones de la presión acústica, por ello es la magnitud más medida en acústica.

La intensidad sonora es importante en acústica por dos razones. Una es que en el espacio libre, está relacionada en cada punto con la potencia radiada por una fuente sonora al aire, y la otra es que en cada punto está relacionada con la presión sonora.

La potencia sonora de una fuente, en una banda de frecuencia determinada, es la energía acústica irradiada por la fuente en la unidad de tiempo. En acústica, ésta magnitud se utiliza para caracterizar a las fuentes sonoras.

En un lugar donde no hay superficies que reflejen el sonido y a cierta distancia de la fuente, la intensidad sonora máxima está relacionada con la presión sonora en cada punto con cualquier tipo de onda viajera libre (plana, esférica, cilíndrica, ..) mediante la relación

$$I_{\max}(r) = \frac{p_{ef}^2(r)}{\rho c} \quad \frac{W}{m^2} \qquad \text{(A.4)}$$

p_{ef} es la presión sonora eficaz, Pa = N/m^2
ρc es la resistencia característica del medio a través del cual viajan las ondas sonoras.

A la distancia r de una fuente sonora puntual isotrópica, la relación entre la intensidad sonora y la potencia sonora de la fuente es

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \qquad \frac{W}{m^2} \tag{A.5}$$

A.2- NIVELES Y DECIBELIOS

Las magnitudes que en Acústica se miden se denominan niveles y siempre están referidas a un nivel cero que corresponde con la referencia respecto a la cual se establece la escala de medida. En Acústica se utiliza el decibelio o décima parte del Belio, dB. El decibelio es una unidad adimensional de medida definida como:

$$L = 10\log\frac{M}{M_0} \quad dB; \quad ref\ M_0 \tag{A.6}$$

en la cual L es el nivel en dB, M y M_0 son magnitudes físicas homogéneas, y M_0 es la magnitud de referencia. En Acústica, la primera vez que aparece el termino decibelio es en un artículo publicado, en el primer número de la revista J.A.S.A, debido a V.O. Knudsen,1929, JASA, vol 1, pag 58.

NIVEL DE INTENSIDAD ACÚSTICA

Se define por:

$$L_I = 10.\log\frac{I_{ef}}{I_0} \quad \text{dB, (ref } I_0 \text{)} \tag{A.7}$$

I_{ef} es la intensidad acústica eficaz medida en W/m^2, correspondiente al nivel L_I, I_0 es la intensidad eficaz de referencia, establecida internacionalmente en 10^{-12} W/m^2.

NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA

Es la magnitud física más utilizada en Acústica y la más sencilla de medir. Al ser la intensidad acústica proporcional al cuadrado de la presión acústica, se define mediante la siguiente expresión:

$$L_p = 10.\log\frac{p_{ef}^2}{p_0^2} = 20.\log\frac{p_{ef}}{p_0} \quad \text{dB, (ref } p_0 \text{)} \tag{A.8}$$

Por acuerdo internacional, la presión eficaz de referencia es, $p_0 = 2.10^{-5}$ Pa, corresponde al umbral de audición de un tono puro de 1.000 Hz.

Con la definición del nivel de presión acústica, la escala de niveles de presiones acústica que representan los umbrales de audición y de dolor, se reducen al rango de 0 a 140 dB, a la frecuencia de 1 kHz.

NIVEL DE POTENCIA ACÚSTICA

La potencia acústica de una fuente, en una banda de frecuencia, es la energía sonora irradiada por la fuente en la unidad de tiempo. Es útil expresar la potencia acústica de una fuente en escala logarítmica. Por ello se define el nivel de potencia acústica de una fuente, L_w, por

$$L_W = 10.\log\frac{W_{ef}}{W_0} \text{ dB, (ref } W_0 \text{)} \qquad (A.9)$$

La potencia de referencia es $W_0 = 10^{-12}$ W.

Conviene recordar, que el nivel de potencia acústica es característico de las fuentes sonoras, en general, es independiente del lugar donde coloquemos a estas y de las condiciones ambientales; sin embargo los niveles acústicos de presión e intensidad dependen de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar donde esté colocada la misma. En el interior de un recinto tiene una gran influencia la absorción acústica del acabado de las superficies, mobiliario, etc. En exteriores influyen el tipo de suelo, obstáculos, condiciones ambientales, etc.

NIVELES ACÚSTICOS Y CANTIDADES DE REFERENCIA. (Recomendación ISO Nº 1.683, y ANSI S1.8 (1.989)).

Magnitud	Definición, dB	Referencia
Nivel de presión	$L_p = 10.\log\frac{p_{ef}}{p_{ref}}$	$p_{ref} = 2.10^{-5}$ Pa
Nivel de intensidad	$L_I = 10.\log\frac{I_{ef}}{I_{ref}}$	$I_{ref} = 10^{-12}$ W/m^2
Nivel de potencia	$L_W = 10.\log\frac{W_{ef}}{W_{ref}}$	$W_{ref} = 10^{-12}$ W
Nivel de energía	$L_E = 10.\log\frac{E_{ef}}{E_{ref}}$	$E_{ref} = 10^{-12}$ J
Nivel de densidad de energía	$L_D = 10.\log\frac{D_{ef}}{D_{ref}}$	$D_{ref} = 10^{-12}$ J/m^3
Nivel de aceleración vibratorio	$L_a = 10.\log\frac{a_{ef}}{a_{ref}}$	$a_{ref} = 10$ µm/s^2
Nivel de velocidad vibratorio	$L_v = 10.\log\frac{v_{ef}}{v_{ref}}$	$v_{ref} = 10$ nm m/s
Nivel de desplazamiento vibratorio	$L_d = 10.\log\frac{d_{ef}}{d_{ref}}$	$d_{ref} = 10$ pm
Nivel de fuerza vibratorio	$L_F = 10.\log\frac{F_{ef}}{F_{ref}}$	$F_{ref} = 1$ µN
Nivel de frecuencia	$L_{fr} = 10.\log\frac{f}{f_{ref}}$	$f_{ref} = 1$Hz

Tabla A.1 Niveles acústicos y valores de referencia.

A.3- COMPOSICIÓN DE NIVELES ACUSTICOS

Cuando varias fuentes sonoras producen en un punto del espacio presiones acústicas instantáneas $p_1(t)$, $p_2(t)$,...., $p_n(t)$, la presión acústica resultante es la suma de las presiones acústicas instantáneas de cada una de las fuentes, es decir:

$$p(t) = \sum_{i=1}^{i=n} p_i(t) \qquad (A.10)$$

El nivel de presión acústica se mide a partir de su valor eficaz

$$p_{ef}^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \left(p_1(t) + p_2(t) + \ldots + p_n(t)\right)^2 . dt \qquad (A.11)$$

Cuando los sonidos que se superponen son de frecuencias distintas, y proceden de fuentes incoherentes, las integrales de los productos $p_i(t).p_j(t)$ son nulas, y el cuadrado de la presión acústica eficaz es la suma de los cuadrados de las presiones acústicas eficaces producidas por cada una de las fuentes:

$$p_{ef}^2 = p_{1ef}^2 + p_{2ef}^2 + \ldots + p_{nef}^2 \qquad (A.12)$$

En este caso, la composición de los sonidos se realiza de manera energética, y la intensidad acústica resultante en un punto es la suma de las intensidades de cada una de las fuentes incoherentes en ese punto. Por consiguiente:

$$I = I_1 + I_2 + \ldots + I_n \qquad (A.13)$$

En muchas situaciones, el nivel de presión acústica resultante en un punto no está producido por una sola fuente, y es de gran importancia el conocer la forma en que cada fuente influye en el resultado global. Teniendo en consideración que estamos utilizando unas escalas logarítmicas que no permiten la suma algebraica, el nivel de presión acústica resultante es:

$$L_p = 10.\log\left(\frac{p_{ef}}{p_0}\right)^2 = 10.\log\left(\sum \frac{p_{i,ef}^2}{p_o^2}\right) \qquad (A.14)$$

De la definición de nivel de presión acústica para una fuente j, obtenemos:

$$L_{p,j} = 10.\log\left(\frac{p_{j,ef}}{p_0}\right)^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{p_{j,ef}^2}{p_0^2} = 10^{0,1L_{pj}}$$

Sustituyendo, el nivel de presión sonora resultante debido a todas las fuentes es:

$$L_p = L_1 \oplus L_2 \oplus \ldots \oplus L_n = 10.\log\left(\sum_{i=1}^{i=n} 10^{0,1L_{pi}}\right) \ \text{dB} \qquad (A.15)$$

Existen otras situaciones en las que la composición de niveles no puede realizarse de forma energética y hay que tener en consideración los efectos de la interferencia de las ondas. Por ejemplo en la propagación del sonido al aire libre hay que tener en cuenta el

efecto del suelo. Cuando en el exterior el sonido se propaga entre la fuente emisora y el receptor el sonido directo y el reflejado por el suelo son de la misma frecuencia y tienen una diferencia de recorrido constante en cada punto de recepción, produciéndose interferencias constructivas o destructivas. Desde hace años, un campo de investigación acústica muy importante es el control activo del ruido. Se fundamenta en que es posible reducir o eliminar un ruido, emitiendo, mediante un altavoz, otro ruido de características semejantes al primero, pero en contrafase.

EJERCICIO A.1

Una fuente sonora produce en un punto un nivel L_p, ¿en cuánto aumenta el nivel, si la fuente duplica la presión sonora eficaz en el punto de medida?

SOLUCIÓN

$$L_p' = 20\lg\frac{2p_1}{p_{ref}} = 20\lg 2 + 20\lg\frac{p_1}{p_{ref}} = L_p + 6 \quad dB$$

EJERCICIO A.2

Una fuente sonora produce un nivel de presión sonora L_p en un punto.¿ En cuánto se incrementa el nivel de presión sonora en dicho punto, si emiten simultáneamente N fuentes sonoras que producen el mismo nivel de presión sonora en el punto?

SOLUCIÓN

La presión sonora resultante es la suma de las presiones sonoras

$$L_p = 10\lg\frac{Np_i^2}{p_{ref}^2} = 10\lg\frac{p_i^2}{p_{ref}^2} + 10\lg N = L_{p_i} + 10\lg N \quad dB$$

A.4.- LAS MEDIDAS ACÚSTICAS EN AMBIENTES RUIDOSOS. LA CORRECCIÓN POR RUIDO DE FONDO O RESIDUAL

Cuando queremos medir el nivel de presión acústica producida por una fuente sonora en particular, ruido específico, llamamos ruido de fondo, ruido ambiental o residual, al producido por otras fuentes distintas a ella. De forma ideal, la medición de los niveles acústicos producidos por las fuentes sonoras debería ser realizada en ausencia de ruidos de fondo significantes, pero esto no suele ser lo habitual, y hay que tener en cuenta las correcciones por el ruido de fondo.

Para determinar el nivel de presión acústica producido por una fuente, $L_{p(F)}$, en presencia de un nivel de ruido de fondo, $L_{p\ (RF)}$, se puede obtener conociendo el nivel combinado de la fuente y el ruido de fondo, $L_{p\ (F+RF)}$.

A partir de la relación entre las presiones eficaces

$$p_{F+RF}^2 = p_F^2 + p_{RF}^2 \qquad (A.16)$$

donde

p_F es la presión acústica eficaz de la fuente sin ruido de fondo

p_{RF} es la presión acústica eficaz del ruido de fondo o residual, fuente sin funcionar

p_{R+RF} es la presión acústica eficaz total con la fuente funcionando.

De la definición de nivel de presión acústica se obtienen las siguientes expresiones:

$$L_{p(F+RF)} = 10.\log\left(10^{0,1L_{p(F)}} + 10^{0,1L_{p(F+RF)}}\right) \quad dB; \quad ref\, 2.10^{-5}\,Pa \qquad (A.17)$$

$$L_{p(F)} = 10.\log\left(10^{0,1L_{p(F+RF)}} - 10^{0,1L_{p(RF)}}\right) \quad dB; \quad ref\, 2.10^{-5}\,Pa \qquad (A.18)$$

La última expresión se puede utilizar siempre que la diferencia $L_{p\,(F+RF)}$.- $L_{p\,(RF)}$, > 3 dB, pues una diferencia de menos de 3 dB indica que el nivel de la fuente es menor que el ruido de fondo. Si la diferencia es superior a 10 dB, el ruido de fondo no se tiene en consideración.

EJERCICIO A.3

El nivel de presión sonora global lineal producido en un lugar de un recinto cuando un ventilador está funcionando es 84 dB y cuando el ventilador está desconectado el nivel de presión sonora residual es de 78 dB. Cuál es el nivel de presión sonora global producido por el ventilador?

SOLUCIÓN

$$L_{p(F)} = 10.\log\left(10^{0,1L_{p(F+RF)}} - 10^{0,1L_{p(RF)}}\right) \quad dB; \quad ref 2.10^{-5} Pa$$

$$L_{p(VENTILADOR)} = 10.\log\left(10^{8,4} - 10^{7,8}\right) = 82,7 \quad dB; \quad ref 2.10^{-5} Pa$$

A.5- ANÁLISIS ESPECTRAL DEL SONIDO. RUIDO BLANCO Y RUIDO ROSA

Generalmente el sonido tiene una estructura compleja, e incluye gran parte de las frecuencias del rango audible. El análisis espectral del sonido consiste en la determinación de su contenido energético en función de la frecuencia. La medida de estos parámetros se realiza mediante analizadores espectrales, los cuales funcionan mediante el uso de filtros electrónicos que actúan sobre los intervalos de frecuencias predeterminados, valorando el contenido energético en ese intervalo. Estos intervalos de frecuencias se denominan bandas de frecuencia y están acotados por una frecuencia inferior y otra superior.

Las bandas normalizadas en acústica son de ancho de banda proporcional. Las más utilizadas son:

BANDAS DE OCTAVA

Una octava se define como una relación 2:1 entre dos frecuencias. Su expresión matemática es $\frac{f_2}{f_1} = 2^n$, donde f_2 es la frecuencia superior del intervalo, f_1 la frecuencia inferior y n el número de octavas. Cuando n = 1, se tiene la banda de octava, se caracteriza porque su frecuencia superior f_2 es siempre el doble de la inferior.

$$f_2 = 2\, f_1 \qquad (A.19)$$

La frecuencia central viene expresada por el valor medio geométrico de los valores extremos.

$$f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = f_1 . \sqrt{2} \qquad (A.20)$$

y el ancho de banda es:

$$\Delta f = f_2 - f_1 \qquad (A.21)$$

BANDAS DE TERCIO DE OCTAVA

Son los tres intervalos consecutivos en que queda dividida una octava. En la definición de octavas, se sustituye n = 1/3.. Sus frecuencias de corte superior e inferior quedan relacionadas por:

$$\frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2}, \qquad f_2 = 1{,}26\, f_1, \qquad f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

La medida de un sonido por bandas conduce a los niveles de presión o intensidad acústica ya descritos, pero limitando el valor de la banda correspondiente a dB/octava, dB/1/3, dB/Hz. De la misma forma se utilizan bandas de 1/12 y de 1/24 de octava.

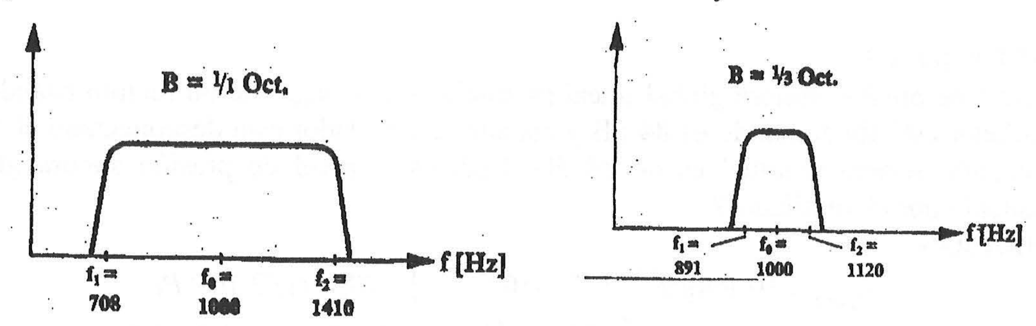


Figura A.1: Banda de frecuencia central a 1kHz en octavas y tercio de octavas

Una banda de octava es la yuxtaposición de tres bandas de tercio de octava. En consecuencia, un espectro en octavas no es posible transformarlo en un espectro en tercios de octava.

Bandas de octava		
Frecuencia inferior f_i ; Hz	Frecuencia central, f_c ; Hz	Frecuencia superior f_s; Hz
22,4	31,5	45
45	63	90
90	125	180
180	250	355
355	500	710
710	1000	1400
1400	2000	2800
2800	4000	5600
5600	8000	11200
11200	16000	22400

Tabla A.2: Rangos de frecuencias en bandas de octava

Bandas de un tercio de octava		
Frecuencia inferior f_i ; Hz	Frecuencia central, f_c ; Hz	Frecuencia superior f_s; Hz
18,0	20	24,4
22,4	25	28,0
28,0	31,5	35,5
35,5	40	45
45	50	56
56	63	71
71	80	90
90	100	112
112	125	140
140	160	180
180	200	224
224	250	280
280	315	355
355	400	450
450	500	560
560	630	710
710	800	900
900	1000	1120
1120	1250	1400
1400	1600	1800
1800	2000	2240
2240	2500	2800
2800	3150	3550
3550	4000	4500
4500	5000	5600
5600	6000	7100
7100	8000	9000
9000	10000	11200
11200	12500	14000
14000	16000	18000
18000	20000	22400

Tabla A.3: Rangos de frecuencia en bandas de un tercio de octavas

RUIDO BLANCO

Se denomina así a un ruido de espectro continuo, que medido por bandas de Hz, dB/Hz, es constante en todo el rango audible, contiene todas las frecuencias con la misma amplitud. En una representación gráfica del nivel en función de la frecuencia, su representación será una recta paralela al eje de abcisas. Si el nivel de un ruido blanco lo representamos en bandas de un tercio de octava, su gráfica será una recta ascendente con una pendiente de 3dB/octava, pues en cada banda hay el doble de frecuencias que en la anterior.

RUIDO ROSA

Es un ruido de espectro continuo, cuyo nivel por bandas es constante. En una representación gráfica del nivel en función de la frecuencia en dB/Hz, la gráfica es una recta descendente de pendiente 3 dB/octava, pues cada banda tiene la mitad de frecuencias que la siguiente, (10log ½ = -3).Cuando se emite un ruido rosa, el nivel medido en octavas es 5 dB superior al medido en tercios de octava, (10 log 3 = 5).
Los ruidos rosa y blanco se utilizan para efectuar medidas acústicas normalizadas.

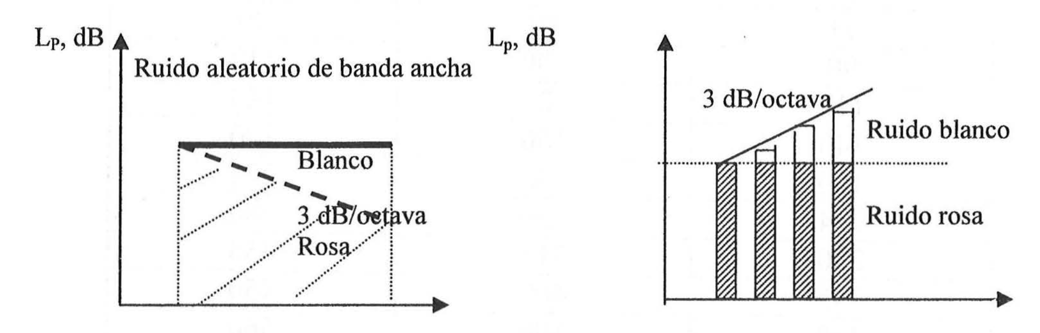


Figura A.2: Ruido aleatorio pasado a través de un filtro de ancho de banda de porcentaje constante

En la acústica de la edificación las frecuencias centrales preferentes son las siguientes:

1/3 OCTAVA Frecuencia central, Hz	1/1 OCTAVA Frecuencia central, Hz
100	
125	125
160	
200	
250	250
315	
400	
500	500
630	
800	
1000	1000
1250	
1600	
2000	2000
2500	
3150	
4000	4000
5000	

Tabla A.4: Bandas de frecuencia utilizadas en acústica en la edificación

A.6 - REDES DE PONDERACIÓN

A.6.1. - PONDERACIONES DE FRECUENCIA

Con la finalidad de que los instrumentos de medida utilizados en acústica tengan en cuenta la forma en que responde el oído humano ante el sonido, se introducen en ellos unas redes de ponderación en frecuencia, de forma que dependiendo de los tipos de sonidos incidentes sobre el instrumento de medida, este pondere la energía.

A lo largo de los años se han ido utilizando distintas redes de ponderación. Las ponderaciones frecuenciales normalizadas son las ponderaciones A y C especificadas en la norma IEC 61672-1. Se ha demostrado que independientemente del nivel sonoro, para la mayoría de los ruidos, tanto la molestia, como la peligrosidad para el órgano de la audición, quedan mejor determinados cuando se emplea en la medición la red de ponderación frecuencial A, por lo que su uso es el más general. La ponderación frecuencial A se utiliza para compensar las diferencias de sensibilidad que el oído humano muestra para las diferentes frecuencias del campo auditivo. Es una aproximación con signo negativo de la curva de nivel de sonoridad igual a 40 fonios.

La red de ponderación C se utiliza en el etiquetado de máquinas, al ser prácticamente plana en todo su espectro.

Al dar los resultados de la medida hay que indicar la red de ponderación frecuencial que se ha utilizado.

<u>Procedimiento para el cálculo de niveles globales ponderados A</u>

El nivel de presión acústica ponderado A se define mediante la fórmula:

$$L_{pA} = 10\lg\left(\frac{p_A}{p_0}\right)^2 \quad dB \qquad (A.22)$$

En cada banda de frecuencia se aplica la corrección correspondiente a la red de ponderación A y se componen los resultados obtenidos en todas las bandas. Por ejemplo para obtener el nivel global ponderado A, se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$L_{pA} = 10.\log\left(\sum 10^{0,1\,(Li + Ai)}\right)\ dB\ ,\ \text{ref}\ 2.10^{-5}\ Pa \qquad (A.23)$$

donde: L_i es el nivel de presión acústica en la banda i; A_i es la ponderación espectral A en esa banda.

Frecuencia central, Hz	Corrección, dB	
	A	C
10	-70,4	-14,3
12,5	-63,4	-11,2
16	-56,7	-8,5
20	-50,5	-6,2
25	-44,7	-4,4
31,5	**-39,4**	-3,0
40	-34,6	-2,0
50	-30,2	-1,3
63	**-26,2**	-0,8
80	-22,5	-0,5
100	-19,1	-0,3
125	**-16,1**	-0,2
160	-13,4	-0,1
200	-10,9	0
250	**-8,6**	0
315	-6,6	0
400	-4,8	0
500	**-3,2**	0
630	-1,9	0
800	-0,8	0
1000	**0**	0
1250	+0,6	0
1600	+1,0	-0,1
2000	**+1,2**	-0,2
2500	+1,3	-0,3
3150	+1,2	-0,5
4000	**+1,0**	-0,8
5000	+0,5	-1,3
6000	-0,1	-2,0
8000	**-1,1**	-3,0
10000	-2,5	-4,4
12500	-4,3	-6,2
16000	**-6,6**	-8,5
20000	-9,3	-11,2

TABLA A.5: Ponderaciones normalizadas A y C de filtros de frecuencias

EJERCICIO A.4

Los niveles de presión sonora de la palabra de un orador con esfuerzo vocal normal, a un metro de su boca en bandas de octava son los siguientes

Frecuencia central, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p, dB	55.5	59.5	60,0	54.5	49,0	43.5	38,0

Hallar los niveles globales de emisión en dB y en dB ponderados A.

SOLUCIÓN

Nivel global en dB

$$L_p = 10.\log\left(10^{5,55} + 10^{5,95} + ... + 10^{3,8}\right) = 64,2 \quad dB$$

Nivel global ponderado A

Frecuencia, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p, dB	55.5	59.5	60	54.5	49	43.5	38
Corrección A, dB	-16.1	-8.6	-3.2	0	+ 1.2	+ 1	- 1.1
L_{pA}, dB	39.4	50.9	56.8	54.5	50.2	44.5	36.9

$$L_{pA} = 10.\log\left(10^{3,94} + 10^{5,09} + ... + 10^{3,69}\right) = 60,1 \quad dB$$

A.6.2. - PONDERACIONES TEMPORALES

La mayoría de los sonidos que se miden en la práctica tienen variaciones temporales. Para una medida adecuada hay que medir estas variaciones con la mayor precisión posible. Las ponderaciones temporales normalizadas más utilizadas se identifican mediante los nombres Rápida, F(Fast), Lenta, S (Slow) e Impulso, I. La ponderación rápida tiene una constante de tiempo de 125 ms, la lenta de 1 s y la de impulso de 35 ms para sonidos que aumentan con el tiempo y de 1,5 s para sonidos que disminuyen con el tiempo. La elección de la ponderación temporal depende de la estabilidad del sonido, de los requisitos de las normas de medición, etc. Se suelen representar:

- L_{AFMax}, L_{ASMax}, L_{AIMax}, son los niveles máximo de ruido ponderado A medidos con ponderación temporal rápida F, lenta, S o impulso, I: Son los niveles sonoros más altos que se producen durante el tiempo de medición.
- L_{AFMin}, L_{ASMin}, L_{AIMin}: son los niveles mínimos de ruido ponderado A medidos con ponderación temporal rápida F, lenta, S o impulso, I: Son los niveles sonoros mínimos que se producen durante el tiempo de medición.

Las ponderaciones temporales normalizadas son las ponderaciones F y S especificadas en la Norma IEC 61672-1.

A.7 - ÍNDICES DE VALORACIÓN DEL RUIDO

Dado que el sonido es una forma de energía, el daño auditivo potencial de un ambiente sonoro dado, no depende únicamente de su nivel, sino también de su duración. Para valorar el daño auditivo potencial de un ambiente sonoro, se deben medir y combinar el nivel sonoro y la duración de la exposición al ruido, para poder determinar el nivel de energía recibida.

Los ruidos pueden ser continuos, intermitentes, impulsivos, tonales, de baja frecuencia, etc. Para medir el ruido es necesario conocer el tipo de ruido, con ello se pueden elegir los parámetros acústicos a medir, la duración de las mediciones y la instrumentación acústica adecuada.

El carácter variable en el tiempo de la mayoría de los ruidos, obliga a definir unos índices que permitan asignar un valor representativo de la respuesta humana a dicha variación temporal. A continuación se definen algunos de los más habituales.

NIVEL DE PRESIÓN SONORA CONTINUO EQUIVALENTE

Se define como el nivel de presión sonora medido en dB, de un ruido permanente que a lo largo de un intervalo de tiempo determinado, tiene la misma energía que el ruido real de nivel variable que se quiere evaluar, durante el mismo intervalo de tiempo. Matemáticamente se expresa como el nivel eficaz del sonido en el intervalo de medida.

$$L_{eq,T} = 10.\log\frac{1}{T}\int_0^T \frac{p_{ef}^2}{p_0^2}dt \quad \text{dB}, \qquad p_0 = 20\mu\text{Pa} \qquad \text{(A.24)}$$

Generalmente se expresa con la ponderación A, y se escribe $L_{Aeq,T}$, donde T es el intervalo de tiempo de medida.

$$L_{Aeq,T} = 10\log\left[\frac{1}{T}\int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2}dt\right] \quad dB, \quad p_0 = 20\mu Pa \qquad \text{(A.25)}$$

$p_A(t)$ es la presión sonora cuadrática media ponderada A durante el funcionamiento de la fuente, t; p_0 = 20 μPa, es la presión acústica de referencia.

En la práctica, si no se dispone de un sonómetro que realice la medida directamente, en el caso de N intervalos en los cuales el ruido puede considerarse como constante en cada intervalo temporal, ± 2 dB, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10.\log(\frac{\sum_{i=1}^{N} t_i.10^{0,1L_{pAi}}}{T}) \quad dB \quad p_0 = 20\mu\text{Pa} \qquad \text{(A.26)}$$

en la cual t_i es el tiempo que está presente el nivel L_{pAi} y T es el intervalo de tiempo en el que se quiere calcular el nivel de presión sonora continuo equivalente.

La utilización del $L_{Aeq,T}$ está recomendada cuando el nivel sonoro es fluctuante y se desea conocer el valor medio de la exposición a lo largo de un intervalo de tiempo. Se

utiliza para evaluar las molestias por exposición a ruidos, criterios de exposición ocupacional, evaluación de ruidos de tráfico, etc.

NIVEL DE EXPOSICIÓN SONORA.

El nivel de exposición sonora de un suceso de ruido discreto, se define como un sonido de nivel constante que actúa durante un segundo y que tiene la misma cantidad de energía sonora que el sonido original en un intervalo de tiempo T. Para la ponderación A en frecuencia se expresa:

$$L_{AE} = 10.\log\left(\frac{1}{T_0}\int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2}dt\right) \quad dB, \; p_0 = 20\mu Pa \qquad (A.27)$$

donde: T_0, es el tiempo de referencia de 1 segundo, $p_A(t)$ es la presión sonora instantánea ponderada A, p_0 es la presión de referencia 2.10^{-5} Pa, y T es el intervalo de tiempo establecido que abarca los sonidos significantes de un evento elegido.

Es un índice útil para calcular los niveles sonoros que resultan de cualquier combinación de fuentes sonoras y está especialmente indicado para la evaluación de sucesos tales como sobrevuelos de aeronaves, paso de trenes, etc.

Para un único suceso acústico, el nivel de presión sonora continuo equivalente en un intervalo T, está relacionado con el nivel de exposición sonora, mediante la siguiente expresión:

$$L_{Aeq,T} = L_{AE} - 10.\log\frac{T}{T_0} \qquad (A.28)$$

donde todos los intervalos de tiempo están medidos en segundos.

En la descripción de ruidos comunitarios son habituales los niveles sonoros continuos equivalentes que se definen para diferentes intervalos horarios. Los intervalos de tiempo de referencia para evaluar el ruido se suelen especificar en las diferentes normas locales, nacionales o internacionales. Para describir el ruido medioambiental se suelen utilizar intervalos de tiempo a largo plazo, en los cuales se promedia o evalúa el ruido de una serie de intervalos de referencia. En el caso de evaluaciones a largo plazo y para uso del suelo, se utilizan intervalos temporales que representan una fracción significativa de un año, por ejemplo: 3 meses, 6 meses, 1 año.

NIVEL SONORO DÍA

Es el nivel de presión sonora continuo equivalente medido para horas diurnas, entre las 7 de la mañana y las 23 horas, se escribe $L_{Aeq,\,día}$ o L_d. Puede medirse con un sonómetro integrador o calcularse a partir de los niveles sonoros continuos equivalentes de cada hora, según la expresión:

$$L_d = 10.\log\left\{\left(\frac{1}{16}\right)\left[\sum_{i=7}^{i=23} 10^{0,1L_{1h}(i)}\right]\right\} \quad dB \qquad (A.29)$$

los dieciséis niveles sonoros promedio están medidos entre las 7 de la mañana y las 11 de la noche, se mide de 7 a 8, 8 a 9, etc.

NIVEL SONORO TARDE

El nivel sonoro tarde, L_e, es el nivel sonoro continuo equivalente medido de siete de la tarde a once de la noche, (19-23 h) o calculado a partir de los niveles sonoros continuos equivalentes de ese intervalo horario, de acuerdo con la expresión:

$$L_e = 10.\log\left\{\left(\frac{1}{4}\right)\left[\sum_{i=19}^{i=23} 10^{0,1L_{1h}(i)}\right]\right\} \quad dB \qquad (A.30)$$

NIVEL SONORO NOCHE

Es el nivel de presión sonora continuo equivalente medido para horas nocturnas, entre las 23 horas y las 7 de la mañana. Se escribe $L_{Aeq,\ noche}$ o L_n. Puede medirse con un sonómetro integrador o calcularse a partir de los niveles sonoros continuos equivalentes de cada hora, según la expresión:

$$L_n = 10.\log\left\{\left(\frac{1}{8}\right)\left[\sum_{i=23}^{i=7} 10^{0,1L_{1h}(i)}\right]\right\} \quad dB \qquad (A.31)$$

NIVEL SONORO DE 24 HORAS

Es el nivel de presión sonora continuo equivalente medido para 24 horas, se escribe $L_{Aeq,24h}$ o L_{24h} . Puede calcularse a partir de los niveles sonoros continuos equivalentes de cada hora, según la expresión:

$$L_{Aeq,24h} = 10.\log\left\{\left(\frac{1}{24}\right)\left[\sum_{i=1}^{i=24} 10^{0,1L_{1h}(i)}\right]\right\} \quad dB \qquad (A.32)$$

También puede calcularse a partir del nivel sonoro día, L_d, calculado sobre 16 horas (7 a 23 h) y el nivel sonoro noche, L_n , sobre las restantes 8 horas.

NIVEL SONORO CORREGIDO DÍA-NOCHE

Es el nivel de presión sonora continuo equivalente durante 24 horas, que incluye un incremento de 10 dB al nivel nocturno, comprendido entre las 22 h y las 7 horas. Este descriptor, ha sido aceptado ampliamente en los países occidentales, incluyendo al ruido aéreo y al de tráfico.

El nivel sonoro corregido día-noche L_{dn} , en dB, puede ser calculado del conjunto de los 24 niveles sonoros correspondientes a cada hora, mediante la expresión:

$$L_{dn} = 10.\log\left\{\frac{1}{24}\left[\sum_{i=22}^{i=7} 10^{0,1(L_{1h(i)}+10)} + \sum_{i=8}^{i=22} 10^{0,1L_{1h(i)}}\right]\right\} \quad dB \qquad (A.33)$$

NIVEL DÍA-TARDE-NOCHE L_{den}

El nivel sonoro día-tarde-noche o nivel equivalente de ruido comunitario, L_{den} se utiliza para regular el ruido en las comunidades. Es el nivel sonoro continuo equivalente ponderado A para 24 horas, obtenido después de añadir 5 dB a los niveles sonoros comprendidos entre las 19 y 23 horas, y 10 dB a los niveles sonoros entre las 23 y 7 horas. Se puede calcular mediante los niveles sonoros horarios, sustituyendo en la expresión:

$$L_{den} = 10\log\frac{1}{24}(12.10^{0,1L_d} + 4.10^{0,1(L_e+5)} + 8.10^{0,1(L_n+10)}) \quad dB \qquad (A.34)$$

En España según el RD 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental se utiliza este índice de ruido día-tarde-noche.

- L_d es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos diurnos de un año.
- L_e es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos vespertinos de un año.
- L_n es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año.

Donde al día le corresponden 12 horas, a la tarde, 4 horas y a la noche, 8 horas. La administración competente puede optar por reducir el período vespertino en una o dos horas y alargar los períodos diurno y/o nocturno en consecuencia, siempre que dicha decisión se aplique a todas las fuentes. Por defecto los intervalos horarios son: día (7.00 –19.00), tarde (19.00 –23.00) y noche (23.00 – 7.00)), en la hora local.

La altura del punto de evaluación del L_{den} depende de la aplicación. Para la confección de mapas de ruido estratégicos en relación con la exposición al ruido en el interior y en las proximidades de edificios, los puntos de evaluación se sitúan a 4 □□± □0,2 m (3,8 – 4,2 m) de altura sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta. La fachada más expuesta será el muro exterior más próximo frente a la fuente sonora; en los demás casos, podrán decidirse otras opciones.

Indicador de ruido en período nocturno
El indicador de ruido en período nocturno L_n es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996 2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año. Donde la noche dura 8 horas.

NIVELES PERCENTILES.

Las fluctuaciones de los niveles sonoros del ruido en el transcurso del tiempo tienen una influencia considerable en las molestias y en el riesgo que puede producir a las personas expuestas, por ello se estudia su variación temporal en el ruido de tráfico rodado, ferrocarriles, aeronaves y en el ruido ocupacional.

Los índices más utilizados en los análisis estadísticos son los niveles percentiles, $L_{AN,T}$, su fundamento es suponer que los ruidos siguen una distribución gaussiana. Son descriptores estadísticos que se utilizan para complementar la información aportada por el $L_{Aeq,\,T}$ cuando el ruido presenta una evolución aleatoria.

El nivel percentil, N, es el nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo superado en el N% del intervalo de tiempo considerado, expresado en dB.

Los más utilizados son: L_{A1}, L_{A5}, L_{A50}, L_{A95} y L_{A99}. Al realizarse las mediciones se debe indicar la ponderación temporal, generalmente la rápida, F, por ello se suelen escribir $L_{AFN,T}$. Ejemplo: $L_{AF90,1h}$ es el nivel de presión sonora con ponderación temporal F y ponderado en frecuencia A, superado en el 90% de una hora de medición.

A.8.- INCERTIDUMBRES EN LAS MEDICIÓNES ACÚSTICAS

Cuando se realizan mediciones sobre ciertas cantidades, los valores medidos son conocidos únicamente dentro de los límites de la incertidumbre experimental. El valor de la incertidumbre puede depender de varios factores tales como la calidad de los aparatos, la destreza del experimentador y el número de mediciones realizadas.

Un proceso de medición produce un resultado de medida que es en principio independiente del método de medida y del proceso. La incertidumbre puede ser distinta, en función de los medios utilizados, pero el mensurando, (magnitud particular objeto de la medición) tiene sentido independientemente del método aplicado para su cálculo.

El concepto de incertidumbre ha evolucionado en profundidad en los últimos treinta años. En un primer momento se definía como la cuantificación del error probable; a su vez, el error se definía como la desviación entre el valor observado y el valor verdadero. El concepto de incertidumbre se confundía con el de precisión, término este que ha generado siempre confusión y ambigüedad. Hoy el término precisión se utiliza en ingles y español, como sinónimo del francés fidélité, concepto normalizado ISO.

El objetivo era estimar donde podía situarse el valor verdadero a partir de uno o varios valores observados. En la práctica, se efectuaban cálculos de error acudiendo a combinaciones lineales de errores máximos. Luego se obtenían intervalos de confianza, construidos alrededor de la media de los valores observados, que contenían con gran probabilidad el valor verdadero.

Definición actual de incertidumbre: parámetro que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mensurando. (1993).

Es importante conocer la naturaleza radicalmente diferente de los conceptos de error e incertidumbre.

El error es la diferencia entre el valor anunciado (el resultado de la medición o el ensayo) y el valor verdadero o convencionalmente verdadero.

La incertidumbre cuantifica la naturaleza aleatoria de los valores atribuidos al mensurando o a la característica ensayada. (Característica es el resultado de un ensayo): cuando se repite una medición o un ensayo, el resultado no es estrictamente idéntico. Esta dispersión de los resultados, es decir la dispersión de los valores que puedan ser razonablemente atribuidos al mensurando, se cuantifica mediante la incertidumbre.

Está aceptado por la comunidad científica que, cuando se han estimado la totalidad de las componentes del error, conocidos o sospechados, y cuando se han aplicado las correcciones adecuadas, sigue subsistiendo una incertidumbre sobre el resultado anunciado.

La incertidumbre debida a una instrumentación acústica clase 1 (IEC61672-1:2002) es 1,0 dB.

Ejemplo: Incertidumbre en las mediciones acústicas ambientales

La incertidumbre de los niveles de presión sonora medidos depende de la fuente sonora y del intervalo de medida, de las condiciones atmosféricas, de la distancia de la fuente, del método de medida y de la instrumentación.

Visión de conjunto de la incertidumbre de medida para el L_{Aeq}

Incertidumbre standard				Incertidumbre standard combinada	Incertidumbre de medida expandida
Debido a la instrumentación [a]	Debido a las condiciones operacionales[b]	Debido a las condiciones atmosféricas y del suelo [c]	Debido al sonido residual [d]	$\sigma_t = \sqrt{1{,}0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$	$\pm 2{,}0\sigma_t$ dB
1,0 dB	X dB	Y dB	Z dB	dB	

[a] Para instrumentación clase 1 IEC61672-1:2002. Si es otra clase de instrumentación IEC61672-1:2002 clase 2 o IEC 60651:2001/IEC 60804:2000 sonómetros tipo 1, o se han utilizado micrófonos direccionales, el valor será mayor.

[b] Será determinado por al menos tres, y preferiblemente cinco medidas bajo condiciones de repetibilidad (el mismo procedimiento de medida, los mismos instrumentos, el mismo operador, el mismo lugar) y en una posición donde las variaciones de las condiciones meteorológicas tengan poca influencia en los resultados. Para medidas a largo plazo, se requieren más medidas para determinar la desviación standard de la repetibilidad.

[c] Los valores varían dependiendo de la distancia de medida y las condiciones meteorológicas imperantes.

[d] El valor varía dependiendo de la diferencia entre los valores totales medidos y el sonido residual.

El redondeo en los resultados de las mediciones acústicas

Las diferentes normas ISO 140 indican que los resultados se deben registrar con una cifra decimal. Sin embargo, si los valores en bandas de octava o en bandas de un tercio de octava se han registrado con más de un decimal, los valores se han de reducir para que tengan un decimal antes de utilizarlos en el cálculo del índice expresado con un único número. Esto se realiza tomando el valor en décimas de dB más cercano a los valores indicados: XX,XYZZ se redondeará a XX,X si Y es menor a 5 y a XX,X+0,1 si Y es igual o mayor a 5. En los programas de software se debe garantizar que esta reducción a aplica a los valores de entrada reales y no únicamente a la precisión mostrada, como aparece en pantalla o impreso sobre papel.

EJERCICIO A.5

Los niveles de presión acústica medidos en un punto de un local están producidos por las fuentes sonoras F1 y F_2 . Sus valores son los que se muestran en la tabla adjunta.

Frecuencia central 1/1 octava, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
F_1, Lp_1 , dB	70	70	65	60	55	50
F_2, Lp_2 , dB	50	55	60	65	70	70

Calcúlense en el mismo punto del local: 1) los niveles de presión sonora global lineal y ponderado A producidos por cada una de las fuentes sonoras de forma individual; 2) los niveles de presión sonora global lineal y ponderado A producidos cuando las dos fuentes sonoras actúan simultáneamente.

SOLUCIÓN: $L_{P1} = L_{P2}$ 73,9 dB; L_{P1A} = 66,7 dB; L_{P2A} = 74,7 dB;
$L_{p1} \Theta L_{p2}$ = 76,9 dB; $L_{p1A} \Theta L_{p2A}$ = 75,3 dB

EJERCICIO A.6

Determínese el L_{Aeq} de una jornada de un estudiante en la Universidad. Durante su estancia en el recinto universitario está sometido a diferentes niveles sonoros continuos equivalentes, durante los intervalos de tiempo que se muestran en la tabla siguiente:

Actividad	Duración, minutos	$L_{Aeq,}$ actividad, dB
Clases	300	55
Pasillos	40	65
Cafetería	20	70
Biblioteca	120	45

SOLUCIÓN: $L_{Aeq,\ 8h} = 59{,}5$ dB

EJERCICIO A.7

A dos metros de la fachada de un edificio el L_{Aeq} producido por el paso de un tren de cercanías es 80 dB y el tiempo de paso es 20 segundos. En la zona el nivel sonoro continuo equivalente producido por otras fuentes sonoras es 55 dB. Si circulan 25 trenes cada hora, ¿cuál será el $L_{Aeq,\ hora}$? ¿Y si se duplica el número de trenes en ese intervalo horario?

SOLUCIÓN:

Nivel sonoro continuo equivalente al circular 25 trenes: $L_{Aeq,1h} = 71{,}5$ dB

Nivel sonoro continuo equivalente al duplicar el número de trenes: $L_{Aeq,1h} = 74{,}5$ dB

EJERCICIO A.8

Los niveles de presión acústica medidos en un punto de un taller con una máquina en funcionamiento y posteriormente desconectada son los siguientes:

Frecuencia central 1/1 octava, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p, máquina funcionando, dB	98	94	90	90	86,5	84,2	76,1	73,2
L_p, máquina desconectada, dB	95	90	85	87	83	80,1	74	69,8

Calcúlense los niveles de presión acústica de la máquina global lineal y ponderado A.

SOLUCIÓN: $L_p = 98$ dB; $L_{pA} = 89{,}3$ dB

EJERCICIO A.9

En una calle de una ciudad se han medido durante 24 horas, a 4 m del suelo, los niveles sonoros continuos equivalentes horarios que se muestran en la tabla siguiente:

Hora	$L_{Aeq,\ 1\ h}$, dB	Hora	$L_{Aeq,\ 1\ h}$, dB	Hora	$L_{Aeq,\ 1\ h}$, dB
0:00:00	63	8:00:00	62,5	16:00:00	61,5
1:00:00	57,8	9:00:00	63,1	17:00:00	61,6
2:00:00	59,9	10:00:00	64,7	18:00:00	60,8
3:00:00	56,4	11:00:00	64,6	19:00:00	61,9
4:00:00	55,9	12:00:00	61,9	20:00:00	61,9
5:00:00	56,1	13:00:00	62,7	21:00:00	63,1
6:00:00	58,6	14:00:00	63,4	22:00:00	64,3
7:00:00	60,6	15:00:00	61,2	23:00:00	61,5

Hállense los valores de los índices de valoración del ruido: $L_{Aeq,\ 24\ h}$ y L_{den}.

SOLUCIÓN: $L_{Aeq,\ 24\ h} = 61{,}6$ dB; $L_{den} = 66{,}8$ dB

NOTAS

NOTAS

CUADERNO

299.01

cuadernos.ijh@gmail.com
info@mairea-libros.com

